# Mineralogische Untersuchung der Erzlagerstätte von Işıkdağ (Türkei)

## mit einem Kapitel über Aufbereitungsversuche

---

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

PHILOSOPHISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITAT BASEL

VON

**ORHAN BAYRAMGIL**
von Istanbul

Zürich 1945
Dissertationsdruckerei AG. Gebr. Leemann & Co.
Stockerstr. 64

# Mineralogische Untersuchung der Erzlagerstätte von Işıkdağ (Türkei)

## mit einem Kapitel über Aufbereitungsversuche

---

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

PHILOSOPHISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN
FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT BASEL

VON

**ORHAN BAYRAMGIL**
von Istanbul

Zürich 1945
Dissertationsdruckerei AG. Gebr. Leemann & Co.
Stockerstr. 64

Genehmigt von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren M. Reinhard und H. Erlenmeyer.

Basel, den 27. Februar 1945.

Der Dekan:
**Prof. P. Huber.**

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Sonderdruck aus „Schweiz. Min. Petr. Mitt.“,
Band XXV, Heft 1, 1945

DEM ANDENKEN MEINES VATERS
UND MEINES BRUDERS

# Mineralogische Untersuchung der Erzlagerstätte von Işıkdağ (Türkei)

**mit einem Kapitel über Aufbereitungsversuche**

Von *Orhan Bayramgil* (Istanbul)

## Inhaltsverzeichnis


Seite

Vorwort . . . . . 25

Geographische Lage . . . . . 26

Geologie . . . . . 27

Regionalgeologie . . . . . 27

Geologie der Lagerstätte . . . . . 28

Petrographie . . . . . 29

Ergussgesteine . . . . . 29

Untersuchung der im Gebiet von Işikdağ auftretenden Ergussgesteine . . . . . 31

Intermediäre bis basische Ergüsse . . . . . 31

Andesite . . . . . 31

Normalandesite . . . . . 32

Hybride Andesite . . . . . 34

Basalte . . . . . 37

Saure Ergüsse . . . . . 39

Biotitdazite . . . . . 40

Saure Gläser . . . . . 41

Zur Entstehungsgeschichte der Ergussgesteine von Işikdağ . . 44

Sedimente . . . . . 44

Die Erzlagerstätte von Işikdağ . . . . . 45

Einleitung . . . . . 45

Die Erzmineralien . . . . . 46

Yenerit, ein neues Blei-Antimon-Sulfosalz . . . . . 46

Makroskopische Beschreibung . . . . . 47

Spezifisches Gewicht . . . . . 47

Pyrognostisches Verhalten . . . . . 49

Erzmikroskopische Untersuchung . . . . . 49

Spaltbarkeit, Härte, Polierverhalten . . . . . 49

Reflexionsvermögen, Farbe, Anisotropieeffekte . . . 50

Ätzversuche . . . . . 50

Innere Beschaffenheit der Individuen, Gefüge . . . 51

Besondere Gefügearten und Genesis . . . . . 52

Röntgenographische Untersuchung . . . . . 54

Seite

Chemische Untersuchung . . . . . 54
Zur Nomenklatur der Bleispiessglanze . . . . . 58
Bleiglanz . . . . . 58
Erzmikroskopisches Verhalten des Bleiglanz I . . . . 59
Zinkblende . . . . . 59
Untersuchung im Dünnschliff . . . . . 60
Untersuchung im Anschliff . . . . . 60
Kupferkies . . . . . 62
Arsenkies . . . . . 62
Erzmikroskopisches Verhalten . . . . . 62
Pyrit . . . . . 63
Erzmikroskopisches Verhalten . . . . . 64
Gold und Silber . . . . . 65
Die Gangartmineralien . . . . . 65
Quarz . . . . . 65
Mikroskopische Beschreibung . . . . . 66
Erzmikroskopisches Verhalten . . . . . 67
Turmalin . . . . . 67
Mikroskopische Untersuchung . . . . . 68
Röntgenographische Untersuchung . . . . . 70
Chemische Untersuchung . . . . . 70
Genesis . . . . . 74
Kalkspat . . . . . 75
Mikroskopische Beschreibung . . . . . 76
Parankerit . . . . . 76
Baryt . . . . . 77
Zinnstein . . . . . 77
Apatit . . . . . 77
Epidot-Zoisit . . . . . 78
Lagerstättenkundliche Stellung des Erzvorkommens von Işikdağ und Successionstabelle seiner Mineralien . . . . . 78
Aufbereitungsversuche . . . . . 80
Mechanische Aufbereitung . . . . . 80
Zerkleinerung und Siebanalyse . . . . . 80
Schwerkraftaufbereitung (Schlämmen) . . . . . 84
Flotation . . . . . 87
Flotationsversuche mit reinen Erzmineralien . . . . . 88
Apparatur und Arbeitsweise . . . . . 88
Flotation einfacher Sulfide mit Oxin als Sammler . . . . 89
Flotative Trennung einfacher Sulfid-Gangart-Gemische mit Oxin als Sammler . . . . . 93
Flotationsversuche an den Komplexerzen von Işikdağ . . . 94
Trennung der Erze von der Gangart . . . . . 94
Einfluß verschiedener Faktoren auf die Flotationsergebnisse . 96
Variation der Menge des Aufgabegutes . . . . . 96
Variation der Korngröße . . . . . 97
Variation der Temperatur . . . . . 98
Variation des Wassers der Schwimmtrübe . . . . . 99

Seite

Flotative Trennung der Pb-Zn-Mineralien von den Fe-As-Mineralien . . . . . 99
Magnetische Aufbereitung . . . . . 102
Chemische Aufbereitung . . . . . 105
Rösten . . . . . 105
Gold- und Silbergewinnung . . . . . 106
Zusammenfassung . . . . . 107
Literaturverzeichnis . . . . . 109
Tafeln I—VII . . . . . nach 112

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Basel auf Anregung von Herrn Prof. M. Reinhard entstanden. Auf ein Studium der Lagerstätte im Felde musste leider verzichtet werden, da unter den gegenwärtigen politischen Verhältnissen Reisen von der Schweiz nach der Türkei nur unter äusserst grossen Schwierigkeiten hätten durchgeführt werden können.

Das Material für die Erzuntersuchung wurde bei den Vorrichtungsarbeiten durch die Herren V. Kovenko und N. Egeran aufgesammelt. Die Ergussgesteinsproben stammen aus den Sammlungen der Herren Dr. M. Blumenthal und V. Kovenko, welche die Lagerstätte und das Gebiet von Işikdağ geologisch kursorisch untersucht haben. Das gesamte Material wurde mir von der Direktion des türkischen Institutes für Lagerstättenforschung (Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü = M. T. A.) nach Basel zugesandt, wofür ich der genannten Amtsstelle auch hier meinen verbindlichen Dank aussprechen möchte.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. M. Reinhard, danke ich herzlich für die gründliche Einführung in die Mineralogie und Petrographie und für die stete Förderung meiner Untersuchungen durch seine Hinweise und Ratschläge. Herrn Dr. A. Rittmann verdanke ich die Einführung in die pyrognostischen und mikrochemischen Bestimmungsmethoden, Herrn Dr. P. Bearth die Einführung in die Methodik der Gesteinsanalyse. Viele wertvolle Anregungen wurden mir in den Vorlesungen, Praktika und auf den Exkursionen durch die Herren Proff. A. Buxtorf, J. Cadisch, H. Erlenmeyer und L. Vonderschmitt zu teil.

Herr Prof. W. Feitknecht erlaubte mir im chemischen Institut der Universität Bern die Pulveraufnahmen von Turmalin herzustellen, und Herr Dr. W. Nowacki, P.-D. an der Universität Bern, führte eine Drehkristall- und eine Pulveraufnahme des Yenerits aus. An dieser Stelle möchte ich den beiden Herren meinen verbindlichen Dank aussprechen.

Herr Dr. O. Grütter korrigierte einen Teil des Manuskriptes meiner Arbeit und zeigte stets Interesse für meine Untersuchungen, wofür ich ihm auch hier bestens danke. Bei Versuchen über die Aufbereitung stand mir Herr Dr. J. von Steiger mit wertvollen Ratschlägen bei und war mir bei der Redaktion des betreffenden Kapitels behilflich; er führte auch die endgültige Analyse des Yenerits und des Turmalins durch, wofür ich ihm meinen herzlichen Dank ausspreche. Endlich danke ich noch meinen Studienkameraden Dres. H. Kam, H. Schmassmann und P. Bitterli für manche anregende Diskussionen.

## Geographische Lage

Die Erzlagerstätte von Işikdağ liegt ca. 80 km NNW von Ankara, am SE-Fuss des 2015 m hohen Işikdağ (s. Fig. 1 und 2) und auf der nördlichen Talseite des Salinyayla bei 1541 m ü. M. Die Işikdağkette (Işikdağ im W und der 1944 m hohe Eldendag im E) verläuft, wie die anderen Gebirgsketten N-Anatoliens, in der Hauptsache in WSW-ENE-licher Richtung. Sie liegt unmittelbar südlich von der von M. Blumenthal (Lit. 6, S. 336) als „Ligne de dépressions longitudinales dans le dispositif hydrographique et orographique entre Ankara et la Mer Noire" bezeichneten, neogenen Senke von Tosya-Ilgaz-

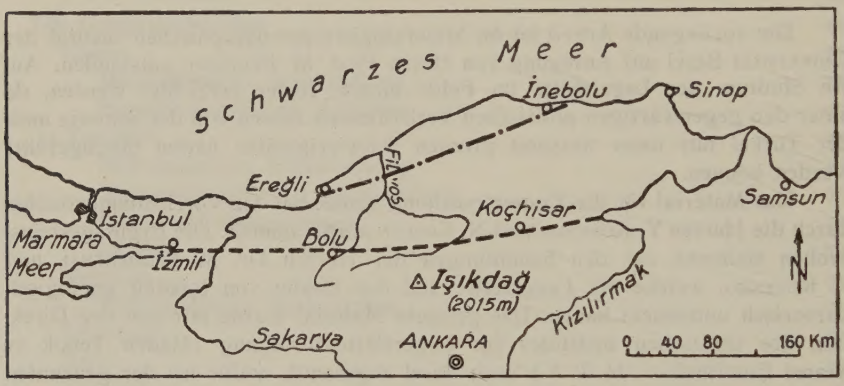



Fig. 1. Geographische Lage von Işikdağ.
Ereğli-Linie – – – – – – Paphlagonische Narbe –·–·–·–·–
(nach Nowack).

Çerkeş. Die Işikdağkette bildet in diesem Gebiet die Wasserscheide zwischen den ins Schwarze Meer mündenden grössten Flüssen der Türkei, dem Kizilirmak und Sakarya einerseits und dem Filyos andererseits. Die Gewässer der steilen N-Flanke des Işikdağ fliessen in der Senke von Çerkeş dem Ulusu zu, der bei Karabük als Melençay in den Filyos mündet. Auf der Südseite des Işikdağ wird das Erzgebiet in den Seyit deresi entwässert, der bei Kizilcahamam dem Karasu zuströmt, einem Seitenfluss des Sakarya.

Die Scheitellinie der Işikdağkette bildet auch die Grenze zwischen den Vilayets (Departemente) Ankara und Çankiri. Die Erzlagerstätte kommt jedoch noch ganz in das Gebiet des Vilayets Ankara zu liegen.

Das Klima von Işikdağ bildet einen Übergang zwischen demjenigen des anatolischen Mittellandes mit wenigen Niederschlägen und dem marinen Klima der Küsten vom Schwarzen Meer.

Die Entfernung der Erzlagerstätte Işikdağ von der nächsten Bahnstation Çerkeş beträgt in der Luftlinie ungefähr 20 km. Diese Station liegt im N der Lagerstätte an der Linie Çankiri-Karabük. Von Çerkeş bis nach Bozcaarmut

(4 km N der Lagerstätte) existiert ein Karrenweg. Bozcaarmut ist mit der Lagerstätte durch einen schlechten, durch Wald führenden Karrenweg verbunden. Vom S her (von Ankara) kann man mit dem Auto bis Güvem (12,5 km S der Lagerstätte) fahren, von wo aus jedoch keine fahrbare Wegverbindung zur Mine besteht.

## Geologie

### REGIONALGEOLOGIE

Das Gebiet von Işikdağ ist geologisch noch wenig eingehend untersucht. Die meisten Geologen, die in ihren Arbeiten darüber veröffentlichten, haben die Gegend nur auf der Durchreise kennengelernt. Für eine spätere geologische Bearbeitung und Kartierung des Gebietes dürfte es jedoch immerhin nützlich sein, hier die wichtigsten Daten aus den Arbeiten, welche sich mit den regionalgeologischen Problemen dieses geologisch und namentlich auch petrographisch interessanten Gebietes befassen, in Kürze zusammenzustellen.

Es ist das Verdienst R. Leonhard's (Lit. 29 und 30) die gewaltige vulkanische Masse, die im N von Ankara auftritt und sich bis nördlich von Işikdağ erstreckt, erkannt und ihre Grenzen festgelegt zu haben. Er hat sie „Galatisches Andesitgebiet" genannt. Diese Ergüsse haben im wesentlichen ihre Ausdehnung (160 km) in W-E Richtung; die durchschnittliche Breite beträgt 50 km. Gegen Ankara hin vereinigen sie sich mit einem von N gegen S gestreckten, zweiten vulkanischen Gebiet. Die Mächtigkeit der Vulkanite ist äusserst wechselnd. Die Ergüsse sind stets jünger als die begleitende kalkige und tonig-mergelige Schichtserie, welche von Leonhard in ihrer Gesamtheit als Eocän angesprochen wurde, in Wirklichkeit aber — wie spätere Forschungen ergaben — zum grössten Teil oberkretazischen Alters ist. Nach Leonhard ist das vulkanische Material stets älter als das obere Miocän, was von A. Philippson (Lit. 46, S. 61) jedoch angezweifelt wird, da er die von Leonhard für die Altersbestimmung ins Feld geführten Gründe als ungenügend betrachtet. Nach P. Arni (Lit. 2, S. 6) ist in einer ersten Phase die Förderung von Andesiten und Basalten während des Eocäns (namentlich in Cuisien) erfolgt. Nach der Ablagerung der „Gypsformation" fing eine Extrusion des basaltischen, andesitischen und trachytischen Magmas an, die wahrscheinlich bis ins Pliocän andauerte.

E. Chaput (Lit. 9, S. 18) schildert die Bildungsgeschichte der Ergüsse folgendermassen: „Les formations volcaniques du nord d'Ankara occupent, dans l'ensemble, une vaste cuvette tectonique, dans laquelle des ondulations secondaires sont apparentes. Elles sont

dirigées vers l'est ou le nord-est, et la cuvette montre aussi un certain allongement d'ensemble dans le même sens."

E. Nowack (Lit. 42, S. 297) teilt das Gebiet zwischen Ankara und dem Schwarzen Meer in 3 Zonen (s. Fig. 1), wobei das Gebiet von Işikdağ der südlichsten, „Galatischen Zone" angehört. Es herrschen nach diesem Autor in dieser Zone deutliche Anklänge an die inneren Dinariden. Die nördliche Begrenzung dieser Zone bildet die „paphlagonische Narbe".

Salomon-Calvi (Lit. 51) betrachtet die paphlagonische Narbe als die Fortsetzung der Jorio-Tonale Linie. Nach ihm sind die galatischen Ergüsse sowie die Riesenvulkane der Osttürkei durch den gewaltigen Druck, den die von N und S vorrückenden Kontinentalmassen ausgeübt haben, zutage gefördert worden.

Über die Natur der paphlagonischen Narbe äussert sich auch M. Blumenthal (Lit. 6, S. 574). Er sagt wörtlich: „Ce n'est que l'alignement des massifs anciens dans la direction longitudinale qui a produit le rattachement des divers faisceaux de dislocations, provoquant ainsi l'extension énorme de la soi-disante ligne de Tonale." Er nimmt zudem eine detailliertere Einteilung vor als Nowack und unterscheidet zwischen Ankara und dem Schwarzen Meer 9 Zonen, wobei das Gebiet von Işikdağ der „Zône de Çankiri-Işikdağlari (Chaînes crétacico-jurassiques des Vilayets de Çankiri et d'Ankara)" angehört. Blumenthal nennt das „Galatische Andesitgebiet" Leonhard's „Complexe galate d'andésite" und nimmt in diesen Ergüssen eine „Zône transversale des thermes" an (Lit. 6, Fig. 4), in der sich in N-S Richtung die Thermen häufen.

Überraschenderweise zeigt sich beim Eintragen der bekannten Erzlagerstätten der Gegend (von N nach S: Yoncali, Işikdağ, Çukurca) in die von Blumenthal gegebene Figur, dass dieselben annähernd auf eine Linie zu liegen kommen, die ziemlich parallel zu der „Zône transversale des thermes" verläuft und nicht weit von dieser entfernt ist.

## GEOLOGIE DER LAGERSTÄTTE

Unter den Berichten, die über die Erzlagerstätte von Işikdağ vorliegen (Lit. 3, 17, 26, 27, 62, 63), befasst sich nur der von K. G. I. Ziegler (Lit. 63) eingehender mit der Geologie dieser Lagerstätte. Da diese Arbeit nicht publiziert ist, scheint es uns geboten, sie kurz zusammenzufassen.

Das Gebiet der Erzlagerstätte (s. Fig. 2) besteht aus oberkretazischen Sedimenten (nach Blumenthal Gosautypus), die im W, S und E durch vulkanisches Material zugedeckt sind. Eine detaillierte

Stratigraphie der Sedimente wurde noch nicht aufgestellt. Die erzführenden Schichten und besonders deren Hangendes führen eine Muschelart, welche als *Pycnodonta vesicularis* Lamarck bestimmt wurde und dem Senon angehören soll.

Die Schichten kulminieren im Erzgebiet in einer Kuppel, die auf dem ENE streichenden Hauptfaltungssattel aufsitzt und deren Längsachse nach SW steiler als nach NE untertaucht. Die Scheitellinie der Kuppel ist in der Längsrichtung gewellt. Das Alter der Faltung ist in der Hauptsache prätertiär. Nach der Faltung wurde die Kuppel durch zahlreiche Verwerfungen in einzelne Schollen zerlegt. Die Brüche streichen N 10 W bis NNW, quer zur Hauptfaltungsrichtung. Die erzbringenden Dämpfe und Lösungen haben als Aufstiegswege zweifellos diese Bruchflächen benützt. Diese Erzbringer stammen nach Ziegler (Lit. 63, S. 6) von einem hypothetischen Intrusivkörper unbekannter Form und Tiefe, der auch die sauren Ergüsse geliefert haben soll, welche N der Lagerstätte anstehen. Wie später eingehender dargestellt wird, sind wir eher geneigt, die Vererzung mit den andesitischen und basaltischen Laven der galatischen Ergussmasse in Zusammenhang zu bringen, und für Ergüsse und Erzbringer den gleichen magmatischen Herd anzunehmen. Diese Annahme steht im Einklang mit den Anschauungen von F. Frech (Lit. 18, S. 172) über die mutmassliche Herkunft der zahlreichen Lagerstätten sulfidischer Erze im Gebiete der Masseneruptionen in Kleinasien; er schreibt:

„Von Interesse ist die grosse Einheitlichkeit des Erzmaterials der Lagerstätten innerhalb eines so weit ausgedehnten Verbreitungsgebietes. Wenn man diese Erscheinung zusammenhält mit dem Vorherrschen bestimmter Typen von Eruptivgesteinen (Augitandesite), kann man nur zu der auch in zahlreichen anderen Fällen bestätigten Vorstellung kommen, dass der Metallgehalt dem betreffenden Magma entstammt."

Abgesehen von den Spuren des alten Bergbaues in Form von Halden, Pingen und unbedeutenden Schurflöchern an der Oberfläche findet man heute keinerlei auffallende Anzeichen einer ausstreichenden Erzlagerstätte.

## Petrographie

### ERGUSSGESTEINE

Gesteinsproben der galatischen Ergussgesteinsprovinz sind namentlich von zwei Forschern gesammelt und später petrographisch näher untersucht und beschrieben worden. Ein Teil der Proben, die

LEONHARD auf seinen Reisen von galatischen Ergüssen sammelte, wurden von L. MILCH mikroskopisch genauer untersucht. Es handelt sich dabei um Proben, deren Fundstellen jedoch mindestens 20 km von Işikdağ entfernt liegen. Nach MILCH (Lit. 35) sind diese Gesteine

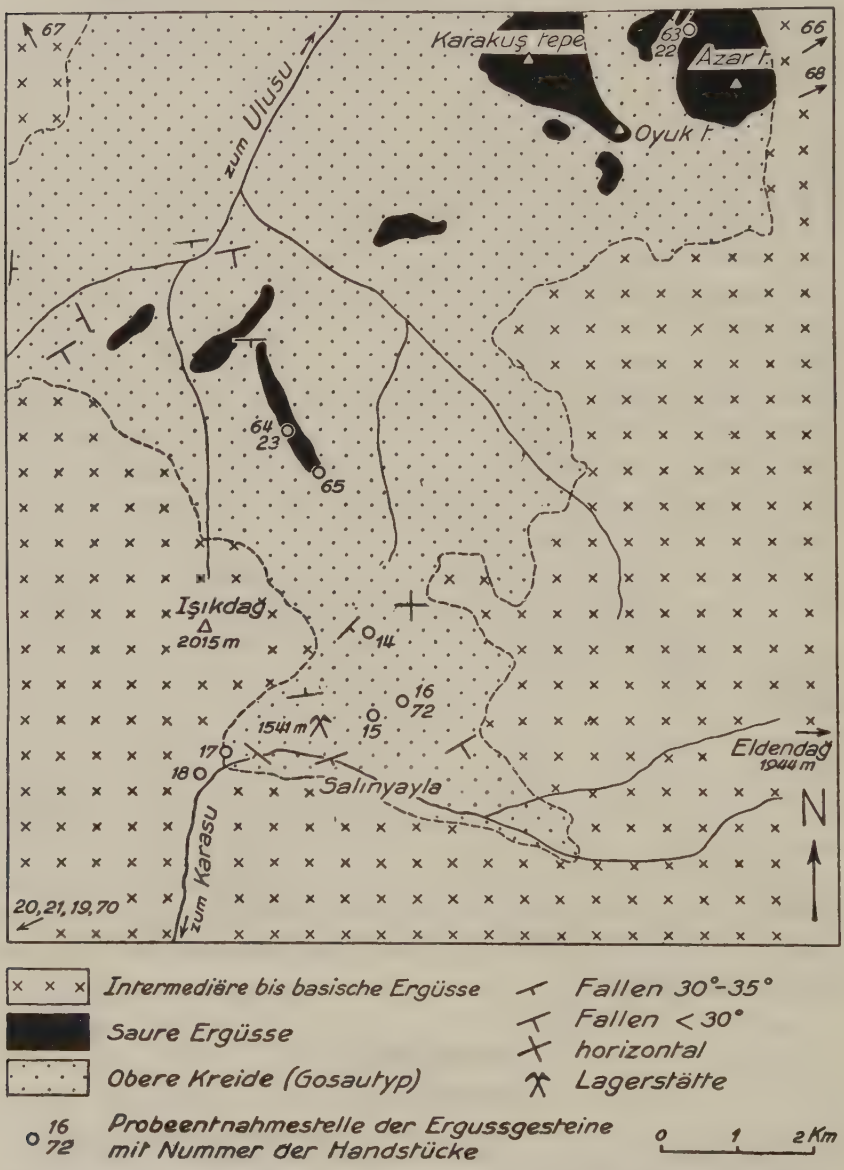



Fig. 2. Geologische Skizze der Umgebung der Erzlagerstätte von Işikdağ nach den Angaben von BLUMENTHAL. Maßstab 1: 100 000.

Dazite, Andesite und Basalte, sowie Andesit- und Dazittuffe. F. Angel (Lit. 1) hat die Gesteine der Aufsammlung Nowack's untersucht; er knüpft daran Erörterungen und Beantwortungen petrographisch und petrogenetisch wichtiger Fragen. Diese Gesteine liegen jedoch ebenfalls in grosser Entfernung von Işikdağ.

## Untersuchung der im Gebiete von Işikdağ auftretenden Ergussgesteine

Wie aus der geologischen Kartenskizze Fig. 2 ersichtlich ist, sind im Gebiete der Lagerstätte von Işikdağ besonders basische bis intermediäre, in geringerem Masse saure Ergussgesteine verbreitet. Sie haben bis jetzt keine petrographische Bearbeitung erfahren. In der Kartenskizze sind die Fundstellen der von uns untersuchten Gesteinsproben vermerkt. Es handelt sich um eine sehr beschränkte Anzahl von Proben, die uns wohl in den Stand setzen, verschiedene Typen zu unterscheiden, über ihre Verbreitung aber kein Urteil gestatten. Es konnten Vertreter folgender Gesteinstypen festgestellt werden:

- Intermediäre bis basische Ergüsse
  - Andesite
    - Normalandesite
    - Hybride Andesite
  - Basalte
    - Olivinbasalte
    - Basalte
- Saure Ergüsse
  - Biotitdazite
  - Saure Gläser

Die intermediären bis basischen Ergüsse nehmen am Aufbau der vulkanischen Masse in der Umgebung von Işikdağ den weitaus wesentlichsten Anteil; sie seien im folgenden zuerst beschrieben.

### Andesite

Fast alle untersuchten Andesite sind durch mehr oder minder ausgeprägte Fliesstruktur gekennzeichnet. Sie unterscheiden sich voneinander deutlich durch den Mineralbestand und das Verhältnis der Einsprenglinge zur Grundmasse.

*Normalandesite*

*Gesteinsprobe 18, blasiger Andesit* (augitführend)

Etwas über 1 km im WSW der Erzlagerstätte finden sich nach Kovenko (Lit. 26) am Weg nach Salin basische Laven.

Es handelt sich um sehr einsprenglingsreiche, dunkelgraue, rötlich anwitternde Gesteine. Sie enthalten spindelförmige Blasen mit einem Längsdurchmesser von 0,1 bis 25 mm. Die kleineren Mandeln sind manchmal mit einem weissen oder auch grünlichen Gemenge von Calcit und Augit gefüllt. Nur an einer Stelle wurde etwas Hyalit festgestellt. Das spezifische Gewicht des Gesteins beträgt nur 2,41.

Unter dem Mikroskop ist eine porphyrisch-intersertale Struktur erkennbar. Die Fliesstruktur ist wenig ausgeprägt. Das Verhältnis Grundmasse : Einsprenglinge beträgt etwa 1 : 1.

Die Grundmasse ist holokristallin. Sie besteht aus Plagioklasleistchen, Erzkörnchen (meist Magnetit) und Erzstaub. Die Erzkörnchen erreichen eine Grösse von 0,03 mm.

Die Einsprenglinge werden in der Hauptsache von Plagioklas gebildet. Die Körner dieses Minerals erreichen eine Grösse von etwa 1,5 mm. Sie sind meist wasserklar, oft verzwillingt und mit Zonarstruktur behaftet. Äusserst selten kommt es durch Kombination von zwei Systemen polysynthetischer Zwillinge zur Ausbildung einer Gitterstruktur, welche an die Struktur der Mikroklingitterung erinnert.

| | |
|---|---|
| Anorthit-Gehalt*) | : 40—50% |
| Spaltbarkeit | : 001, selten 110 |
| Verwachsungsebene | : 010 |
| Zwillingsgesetz | : Albit und Karlsbad |

Augit von hellgrüner Farbe ist sehr spärlich vorhanden und kommt ausschliesslich in den Mandeln vor. Durch den Schleifprozess ist er zum Teil weggetragen worden. Bowlingit ist nur in wenigen, bis 0,3 mm grossen Körnchen vorhanden. Akzessorisch kommen einige Apatitkörnchen vor.

---

*) Alle Messungen der Plagioklase erfolgten nach der Methode von M. Reinhard (Lit. 49) und ihre Auswertung auf den Kurven des gleichen Autors. Es ist hervorzuheben, dass bei der Interpretation auf Tafel 2 (Fedoroff-Nikitin Stereogramm) die auf die Kurve 010 kommenden Pole fast immer etwas rechts von dieser Kurve zu liegen kommen. Für Anorthitgehalte, welche wir erhalten haben (weniger als 50% An.) wären demnach unsere Punkte näher an der ursprünglichen Kurve von Reinhard gelegen, als an der von F. Spaenhauer (Lit. 58) modifizierten.

*Gesteinsprobe 67, pyroxenführender Andesit*

Diese Probe liegt aus der nördlichen Grenze des galatischen Ergusskomplexes vor. Sie stammt von Gökçukur NW-lich Dereköy, aus der Nähe des Kontaktes der Ergüsse mit den liegenden Sedimenten (nach BLUMENTHAL untere oder obere Kreide in Kalkfazies).

Dieses Gestein hat eine asch- bis dunkelgraue Farbe und ist stellenweise rotbraun angewittert. Im Gegensatz zu dem eben beschriebenen blasigen Andesit zeigt das Gestein nur wenige, kaum sichtbare Einsprenglinge. Spezifisches Gewicht = 2,55.

Unter dem Mikroskop erweist sich die Grundmasse als ausserordentlich feinmikrolitisch. Sie besteht fast ausschliesslich aus Plagioklasleistchen, die sich — selbst bei stärkster Vergrösserung — der näheren Bestimmung entziehen. Stellenweise sind auf Adern Limonitbildungen festzustellen, die vermutlich auf Kosten der in der Grundmasse vorhandenen Erzkörnchen gebildet wurden. Höchst selten zeigt sich auch klarer, allotriomorpher Quarz.

Als sehr spärliche Einsprenglinge wurden nur idiomorphe Pyroxenkörnchen festgestellt. Ihre Grösse erreicht 1,2 mm. Es sind sowohl rhombische als auch monokline Pyroxene festzustellen. Nach dem Achsenwinkel handelt es sich beim rhombischen Pyroxen um Hypersthen, der jedoch nur einen höchst schwachen Pleochroismus zeigt:

$n_\alpha$ = bläulichgrünlich
$n_\gamma$ = gelblich

Dieser schwache oder sogar fehlende Pleochroismus ist für den Hypersthen in den Andesiten und Basalten Anatoliens oft charakteristisch (Lit. 57, S. 163 und Lit. 4, S. 147). Von einem solchen ungewöhnlichen Hypersthen berichtet auch H. C. COOKE (Lit. 11) im Norit nördlich vom Athabaska-See (Kanada). Die Ursache dieser Anomalie scheint uns, wie schon in einer früheren Arbeit erwähnt (Lit. 4, S. 147), von dem Gehalt der dreiwertigen Eisenionen herzurühren. Unter den monoklinen Pyroxenen konnten Augit und Pigeonit bestimmt werden.

*Gesteinsprobe 68, pyroxenführender Biotitandesit*

Auch diese Probe stammt von der N-Grenze des Andesitkomplexes aus dem Kurşunlu boğazi bei Karacaviran. Die Fundstelle liegt jedoch im Kontakt mit neogenen Sedimenten.

Dieses Gestein ist dunkelgrau und zeigt, im Gegensatz zu der vorher besprochenen Probe, Einsprenglinge, deren Grösse bis 4 mm betragen kann. Spezifisches Gewicht = 2,56.

Unter dem Mikroskop zeigt die Grundmasse die gleichen Komponenten wie bei dem oben beschriebenen blasigen Andesit. Das Verhältnis Grundmasse : Einsprenglinge beträgt ungefähr 5 : 1.

Als Einsprenglinge kommen vor:

Plagioklas; er zeigt alle Übergänge von den Leistchen der Grundmasse bis zu Einsprenglingen von 4 mm Länge. Er ist in der Regel verzwillingt und zonarstruiert. Manchmal zeigt er Trübungs- und Korrosionserscheinungen. Er enthält oft Glaseinschlüsse, die sich an die Zonarstruktur anpassen.

| | | |
|---|---|---|
| Anorthit-Gehalt | : | 40—52% |
| Spaltbarkeit | : | 001 und 010 |
| Zwillingsgesetz | : | Albit, Periklin, Komplex-Albit-Ala. |

Epidot-Zoisit und Erzkörnchen sind oft als Einschlüsse zu beobachten.

Pyroxen; die nur spärlich auftretenden Körnchen von Pyroxen sind zum grössten Teil zersetzt, zum Teil auch vererzt. Ihre Grösse beträgt durchschnittlich 0,5 bis 1 mm. Unter den verhältnismässig frischen Körnern konnten Augit und Hypersthen (mit den gleichen Eigenschaften wie in Probe 67) bestimmt werden.

Biotit dürfte dem ursprünglichen Mineralbestand angehören und tritt in vereinzelten, vererzten Blättchen auf, welche eine Länge von 1 mm erreichen.

### *Hybride Andesite*

In einer Entfernung von 0,5 bis 1 km im ENE der Erzlagerstätte treten in den Sedimenten kleinere Ergussvorkommen auf, die nur auf der Karte von Kovenko eingetragen sind. Der Mineralgehalt dieser Gesteine entspricht offenbar keinem Gleichgewichtszustand. Sie enthalten einen wechselnden Quarzgehalt. Auf Grund des mikroskopischen Aussehens kann er nicht zum Primärbestand des Gesteins gehören. Kovenko hat diese Gesteine auf seiner Karte als Liparite und Andesit-Dazite bezeichnet. Vermutlich hat ihn der Quarzgehalt zu dieser Diagnose veranlasst. Wie aus der folgenden Beschreibung hervorgeht, müssen sie als hybride Andesite bezeichnet werden.

Zum Auftreten des Quarzes in den galatischen Ergüssen hat sich auch Angel (Lit. 1, S. 69) geäussert. Wir werden im Zusammenhang mit der Diskussion über die Entstehungsgeschichte der Ergussgesteine noch Stellung zu dieser Frage beziehen.

*Gesteinsproben 15, 16, 72*

Die Proben wurden ENE der Lagerstätte (am Wege nach Çerkeş und am Bächlein Ören deresi) entnommen. Sie haben eine graue Farbe mit grünlichem Stich und sind oberflächlich gelblich bis rotbräunlich angewittert. Sie enthalten nur wenige Einsprenglinge. Spezifisches Gewicht = 2,63.

Die Grundmasse besteht aus zum Teil in Calcit umgewandelten Plagioklasleistchen, Bowlingit, magnetitisiertem Biotit und Erzkörnchen. Das Verhältnis der Grundmasse zu den Einsprenglingen beträgt etwa 8 : 1. Im folgenden werden nach abnehmender Häufigkeit die Einsprenglinge beschrieben.

Plagioklas; nur wenige Körner sind frisch. Die meisten besitzen einen breiten Reaktionshof. Manche Körner sind getrübt, auch resorbiert und zum Teil in Calcit umgewandelt. Sie können eine Länge von 3 mm erreichen.

| | | |
|---|---|---|
| Anorthit-Gehalt | : | 30—40% |
| Verwachsungsebene | : | 010 |
| Zwillingsgesetz | : | Komplex-Albit-Karlsbad und Albit-Ala. |

Bowlingit; in manchen Ergüssen von Işikdağ tritt ein Mineral als Hauptgemengteil auf, das auf Grund seiner optischen Eigenschaften mit Bowlingit, einem Umwandlungsprodukt von Olivin (Lit. 61, S. 437) identifiziert wurde.

Das Mineral zeigt bald Körner mit guten kristallographischen Umrissen, bald ist es faserig ausgebildet. Die Länge der Körner beträgt maximal 0,6 mm. Das Mineral ist gelegentlich deutlich pleochroitisch:

$n_\alpha$ = hellgelbgrün
$n_\beta$ = dunkler gelbgrün
$n_\gamma$ = bräunlich gelb

Manchmal zeigt es Spaltbarkeit. Messungen auf dem Fedoroff-Tisch zur Bestimmung des Achsenwinkels waren nur schwer durchführbar, weil das Mineral zum Teil durch die faserige Struktur und zum Teil durch örtliche Zersetzung keine einheitliche Auslöschung zeigt. Immerhin konnten für 2V Werte von $-70^0$ und $-73^0$ gemessen werden. Manche Körner sind magmatisch resorbiert; einige zeigen eine Umwandlung nach Biotit + Erz sowie in karbonatische Substanzen.

Biotit liegt in bis 1 mm grossen Einsprenglingen vor. Er ist immer magmatisch stark resorbiert, sodass kleine Einsprenglinge durch Vererzung undurchsichtig geworden sind, während breitere

Lamellen einen breiten Opacitrand aufweisen. Der Pleochroismus ist stark:

$n_\gamma = n_\beta =$ fast schwarz
$n_\alpha =$ blassgelb

Die maximale Doppelbrechung beträgt ca. —0,04.

Die Hornblende ist meist der völligen Umwandlung in Magnetit anheimgefallen; ihre frühere Anwesenheit kommt dadurch zum Ausdruck, dass das Umwandlungsprodukt die typischen Umrisse von Hornblende zeigt. Die Grösse dieser Einsprenglinge beträgt durchschnittlich 0,5 mm. Da stellenweise im Magnetit noch Schuppen von Biotit vorhanden sind, besteht die Möglichkeit, dass dieser letztere als ein Zwischenprodukt der Umwandlung zu betrachten ist.

Der Quarz tritt entweder als sekundäres postmagmatisches Produkt auf oder als Fremdling, von der Lava aus den durchbrochenen Gesteinen aufgenommen. Er ist dort deutlich als sekundäres Produkt erkennbar, wo er zusammen mit Calcit Plagioklaseinsprenglinge verdrängt. Die grösseren Quarzkörner, die bis 0,7 mm Durchmesser erreichen, erweisen sich durch ihre unregelmässigen Umrisse und die Einschlüsse als Fremdlinge.

Accessorisch treten Körnchen von Zirkon und Apatit auf.

*Gesteinsprobe 14*

Sie stammt aus dem etwas mehr als 1 km NNE von der Lagerstätte entfernten Vorkommen (auf dem Wege nach Çerkeş). Das Gestein hat auf dem frischen Bruch eine graue Farbe, ist aber zumeist braun angewittert. Sein spezifisches Gewicht beträgt 2,70.

Dieses Gestein weicht von den vorhergehenden dadurch ab, dass die Fliesstruktur fehlt und die Einsprenglinge (nur Plagioklas) weit spärlicher vorhanden sind und in einer ziemlich gleichmässig und gröber gekörnten Grundmasse schwimmen.

Die Grundmasse besteht aus Quarzkörnchen (40 Vol.%): 0,04 bis 0,06 mm gross, oft stark undulös, viele sind wasserklar; Plagioklasleistchen (30 Vol.%): bis 1 mm lang, fast ausnahmslos korrodiert; Karbonataggregate (20 Vol.%): meist durch Limonitausscheidung mehr oder weniger bräunlich gefärbt; winzige Erzkörnchen (10 Vol.%).

Die Plagioklaseinsprenglinge sind meist zersetzt und teilweise korrodiert. Manchmal zeigen sie lamellare Verzwillingung. Die nur an einem Korn durchführbaren Messungen ergaben:

| | | |
|---|---|---|
| Anorthit-Gehalt | : | 45% |
| Verwachsungsebene | : | 010 |
| Spaltbarkeit | : | 001 |

Der als fremdes Material ebenfalls spärlich in der Grundmasse in gröberen Körnern (bis 1,2 mm Durchmesser) eingebettete Quarz zeigt meist stark gerundete und zerklüftete Formen.

*Gesteinsprobe 17*

Etwa 1 km WSW-lich der Lagerstätte findet sich nach KOVENKO (Privatmitteilung) eine Verwerfung in den Andesiten. Eine von hier stammende Gesteinsprobe hat ein brekziös bis konglomeratisches Aussehen. Die einzelnen, bis 1 cm grossen Brocken bestehen — wie die mikroskopische Untersuchung ergab — aus einem ähnlichen Material wie die Gesteinsproben 16, 17, 72. Es ist jedoch eine weitgehende Limonitisierung festzustellen, die im allgemeinen entlang den Grenzen der Brocken verläuft.

## Basalte

Im Vergleich zu den Andesiten zeigen diese Gesteine eine dunklere Farbe und eine viel dichtere Grundmasse, in welcher als Einsprenglinge gelegentlich Pyroxen, in einigen Typen auch Olivin auftreten. Das Aussehen ist ausgesprochen basaltisch.

*Gesteinsproben 19, 21, 70*

Im SW der Erzlagerstätte von Işikdağ trifft man nach ZIEGLER (Lit. 63, S. 4) nördlich von Güven bei Buzcu olivinführende Basalte mit säuliger Absonderung. Gleichartige Gesteine treten auch noch im N von diesem Fundort mit Sedimenten zusammen auf, die von R. EGEMEN (Lit. 15) auf Grund von Fossilpflanzen mit Vorbehalt ins obere Miocän gestellt wurden.

Diese Basalte haben eine grauschwarze Farbe und sind bräunlich oder rötlich angewittert. Ihr spezifisches Gewicht variiert zwischen 2,78 und 2,90.

Unter dem Mikroskop zeigen sie eine intersertale bis pilotaxitische Struktur. In der oft etwas schlierigen Grundmasse ist nur wenig bräunliches Glas vorhanden. Die Grundmasse besteht aus meist verzwillingten Plagioklasleistchen, zum Teil idiomorph ausgebildeten Augitkörnchen, xenomorphem Olivin und idiomorphen bis gerundeten Erzkörnchen. Nur selten sind Biotitblättchen mit starkem Pleochroismus ($n_\alpha$ = gelb, $n_\gamma$ = dunkelbraun) und sekundär gebildete Karbonataggregate zu beobachten.

Die Einsprenglinge bilden nur etwa 10 Vol.% des Gesteins.

Der Olivin bildet hypidiomorphe, zum Teil magmatisch korrodierte bis 0,5 mm grosse Körner. Die Spaltbarkeit 010 ist deutlicher als diejenige 100. Die maximale Doppelbrechung beträgt etwa 0,035. Die Olivinkörner befinden sich zum grössten Teil in einem Umwandlungsstadium in eine schmutzig braungrün gefärbte Substanz, die nicht bestimmt werden konnte. Sicher ist, dass es sich weder um Serpentin noch um ein Gemisch von Calcit mit Limonit handelt. Meist werden die Olivinkörner von dieser Substanz teilweise umhüllt; bei einigen dringt die Umwandlung maschenförmig in das Mineralkorn ein. Die auf dem U-Tisch durchgeführte Messung des Achsenwinkels 2V ergab Werte zwischen $-72^0$ und $+78^0$, wobei folgende Tatsache zu beobachten war: 2V steht in Abhängigkeit vom Vorschreiten der Umwandlung des Olivins in die fragliche Substanz, und zwar ist bei $2V = -72^0$ noch keine Umwandlung sichtbar; bei $2V = +78^0$ hingegen ist sie verhältnismässig am fortgeschrittensten. Beim Olivin variiert der Achsenwinkel mit dem Chemismus folgendermassen (Lit. 10, S. 170):

| 2V | $< 90^0$ | $= 90^0$ | $> 90^0$ |
|---|---|---|---|
| FeO-Gehalt | $< 13\%$ | $= 13\%$ | $> 13\%$ |

Es kann daher vermutet werden, dass die Substanz, in welche der Olivin sich umwandelt, reich an Eisen ist, welches vom Olivin geliefert wurde. Auch die Dispersionserscheinungen am Olivin sprechen dafür, dass die Umwandlung dieses Minerals mit einem Eisenverlust verbunden ist, da bei Körnern ohne Umwandlungserscheinung $\varrho > v$, bei Körnern mit fortgeschrittener Umwandlungserscheinung $\varrho < v$ beobachtet wird.

Augit und Pigeonit bilden zum Teil idiomorphe, zum Teil korrodierte Körner, welche eine Grösse von 0,5 mm erreichen. Sie sind grünlich gefärbt und zeigen manchmal Zonarstruktur, sanduhrförmige Skelettbildungen, seltener auch glomerogranulare Anhäufung. Es konnten folgende optische Daten bestimmt werden:

| | 2V (auf dem U-Tisch) | $n_\gamma/c$ | $n_\gamma - n_\alpha$ |
|---|---|---|---|
| Augit | $60-67^0$ | $42-51^0$ | 0,023–0,034 |
| Pigeonit | $20^0$ | $40^0$ | 0,021 |

Der Pigeonit wurde bedeutend seltener beobachtet als der Augit.

Der Plagioklas gehört ausschliesslich der Grundmasse an. Die Leistchen sind so klein, dass sie keine Messung ermöglichen. Nach

dem reichlichen Olivingehalt ist aber anzunehmen, dass sie mehr als 50 % Anorthit führen, sodass diese Gesteine bei den Olivinbasalten einzureihen wären.

*Gesteinsprobe 20*

Ein Handstück, das nördlich von obigem Gestein bei Paşaoğlu gesammelt wurde, ist diesem recht ähnlich, enthält jedoch keinen Olivin. Es entspricht einem Basalt.

*Gesteinsprobe 66*

stammt von der N-Grenze des Andesitkomplexes mit neogenen Sedimenten, NE Saçaklikköy. Dieses Gestein hat eine bräunlich graue Farbe und ist oberflächlich leicht grüngelb angewittert. Spezifisches Gewicht = 2,64.

Unter dem Mikroskop zeigt die Grundmasse fluidale Struktur; sie ist holokristallin und besteht aus Plagioklasleistchen, farblosen Pyroxen-, grünlichgelben Bowlingit- und opaken Erzkörnchen. Die Plagioklasleistchen scheinen nach dem Relief bedeutend mehr als 50 % Anorthit zu enthalten.

Als Einsprenglinge sind nur einige, unregelmässige Umrisse zeigende Bowlingit-Säulchen zu nennen. Ihre Länge erreicht 1,5 mm. Sie zeigen einen kaum wahrnehmbaren Pleochroismus. Sie scheinen manchmal durch die Plagioklasleistchen verdrängt zu werden. Höchst selten sind noch hypidiomorphe Augiteinsprenglinge vorhanden, welche maximal 0,8 mm Grösse erreichen. Dieses Gestein ist auch als Basalt zu bezeichnen.

## Saure Ergüsse

Ein Blick auf die geologische Skizze Fig. 2 zeigt, dass nördlich der Erzlagerstätte von Işikdağ ausser den Andesiten und Basalten noch eine andere Ergussgesteinsgruppe vorhanden ist. Diese Eruptiva sind von Blumenthal als „Intrusions acides précurseures, Quarzporphyr-Liparite" bezeichnet worden. S. Atabek (Lit. 3) nennt sie Liparite und Ziegler (Lit. 63, S. 3) spricht von „jüngeren Nachschüben: Quarzporphyr, Dazit, Liparit". Lage, Verbreitung und Form dieser sauren Ergüsse auf den Karten von Atabek und Ziegler stimmen mit der Karte von Blumenthal nicht überein. Nach den ersten beiden Autoren werden diese Ergüsse von zwei einheitlichen Massen gebildet: die erste liegt 5 km nördlich der Erzlagerstätte mit einer Oberfläche von etwa 2,5 km$^2$; die zweite befindet sich 8 km NNW

des Erzvorkommens mit ca. 5 km² Oberfläche. Die Kartierung Blumenthal's macht den Eindruck, detaillierter durchgeführt zu sein.

Von den sauren Ergüssen lagen zur Untersuchung Proben der folgenden Gesteinsarten vor:

*Gesteinsprobe 22, 63*

*Hornblendebiotitdazit* bis *Biotitdazit*

Die Proben stammen vom Kontakt der sauren Ergüsse mit den Sedimenten am Azartepe. Sie haben eine gelblichgraue bis weisse Farbe und zeigen Einsprenglinge, welche bis einige Millimeter Durchmesser aufweisen. Spezifisches Gewicht = 2,43.

Unter dem Mikroskop lässt die Grundmasse eine mikrofelsitische Struktur erkennen. Sie ist holokristallin und besteht aus getrübten, manchmal Zersetzungserscheinungen zeigenden Plagioklasleistchen und allotriomorphem Quarz. Mengenverhältnis Plagioklas zu Quarz etwa 4 : 1.

Das Verhältnis der Einsprenglinge zu der Grundmasse beträgt ungefähr 1 : 4. Als Einsprenglinge treten auf: Plagioklas, Quarz, Biotit und Hornblende.

Die Plagioklaseinsprenglinge sind zum Teil gerundet und manchmal magmatisch korrodiert. Sie zeigen oft lamellare Zwillinge, selten zonare Struktur. Ihre Länge erreicht bis 4 mm und ihre Breite bis 2 mm.

| | | |
|---|---|---|
| Anorthit-Gehalt | : | 30—35% |
| Spaltbarkeit | : | 001 und 010 |
| Zwillingsgesetz | : | Albit. |

Die Quarzkörner sind meist gerundet und klar. Ihre durchschnittliche Grösse beträgt 1 mm.

Biotit tritt in vereinzelten, magmatisch stark korrodierten Blättchen auf, die eine Länge von 2 mm erreichen können. Er zeigt einen starken Pleochroismus:

$n_\gamma$ und $n_\beta$ = schwarz
$n_\alpha$ = bräunlich gelb.

Die Hornblende besteht aus nur wenigen Körnchen, die in manchen Schliffen ganz fehlen. Sie sind ebenfalls meist korrodiert und zeigen starken Pleochroismus ($n_\gamma$ = grüngelb, $n_\alpha$ = olivgrün). Häufig sind sie zonarstruiert.

*Saure Gläser*

Nach Ziegler (Lit. 63, S. 3) ist die auf seiner Karte 5 km nördlich des Erzvorkommens gezeichnete Ergussmasse aus diesen Gesteinen gebildet. Dort ist nach diesem Autor ein grosser Stock eines glasigen Quarzporphyrs mit spärlich auskristallisiertem Sanidin und Quarz zwischen mesozoischen Sedimenten und Andesit eingekeilt. Aus einem derartigen Stock dürften auch die von Blumenthal auf dem Wege Yoncali-Salinyayla SE Yoncali aufgesammelten Proben stammen, die uns zur Untersuchung vorlagen. Sie zeigen eine vitrophyrische Struktur und sehr spärliche, 1 bis 2 mm grosse Einsprenglinge. Das Glas zeigt eine deutlich niedrigere Brechung als Kanadabalsam.

*Gesteinsprobe 65*

Diese Probe wurde etwa 3,5 km nördlich der Lagerstätte entnommen. Sie ist glasig ausgebildet und von schlieriger Textur, wobei die Farbe zwischen hellgrau und dunkelgrau variiert. Spezifisches Gewicht = 2,35.

Unter dem Mikroskop erweist sich die farblose Glasbasis als weitgehend devitrifiziert. Bei stärkster Vergrösserung sind äussert feine Stengelchen sichtbar, über deren Natur infolge ihrer Kleinheit nichts bestimmtes gesagt werden kann.

Die Einsprenglinge bestehen aus Feldspat und wenig Quarz, der sich zum Teil in glomeroglanularen Häufchen findet. Die Feldspatkörner sind meist frisch, manchmal verzwillingt und zeigen oft gute kristallographische Umrisse (s. Fig. 3; a, b, c). Bei drei Körnern konnte festgestellt werden, dass die Brechung deutlich niedriger als Kanadabalsam ist. Die im allgemeinen gute Ausbildung dieser Feldspäte erlaubte die Messung von fünf Körnern auf dem U-Tisch. Der Achsenwinkel beträgt $-28^0$ bis $-30^0$ mit Ausnahme von einem Korn mit $2V = -60^0$. Der kleine Achsenwinkel spricht für die Sanidin- oder Anorthoklasnatur dieser Feldspäte. Die optische Achsenebene steht stets beinahe senkrecht 010 und liegt fast parallel 001. Die Richtung von $n_\beta$ steht beinahe senkrecht auf den Spaltrissen 001, wie das bei allen Kali- und Kali-Natronfeldspäten der Fall ist; die Abweichung beträgt $4-10^0$. Mit Sicherheit konnte festgestellt werden, dass die Richtung von $n_\gamma$ nicht mit den Flächennormalen von 010 zusammenfällt. Die Abweichung beträgt hier $4-6^0$. Der vorliegende Feldspat ist demnach triklin.

Bei einem verzwillingten Korn (s. Fig. 3, a), bei welchem Spaltrisse nach 001 und nach 010 sichtbar sind, konnte eine Verzwillingung nach dem Manebachergesetz festgestellt werden. Die zwei Spaltrissysteme bilden einen Winkel von $91^0$; der gleiche Wert konnte auch bei einem anderen, nicht verzwillingten Korn gemessen werden, doch möchten wir auf diese Feststellung der morphologischen Triklinität kein Gewicht legen, da die Einmessung der Spaltrisse nicht mit genügender Genauigkeit erfolgen kann.

Im Korn, bei welchem der Achsenwinkel $-60^0$ beträgt (s. Fig. 3, b), sind die Individuen 1 und 2 nach dem Karlsbadergesetz verzwillingt. Das Individuum 2 enthält ausserdem polysynthetische Albitlamellen 3; 1 und 3 sind folglich nach dem Komplex-Albit-Karlsbad verzwillingt.

Ein Korn (s. Fig. 3, c), an dem Spaltrisse nach 001 gut zu sehen sind, enthält eine feine, mit den Spaltrissen einen Winkel von $6^0$ bildende Lamelle (Individuum 2). Es handelt sich offenbar um eine Periklinlamelle, deren Optik allerdings nicht eingemessen werden konnte.

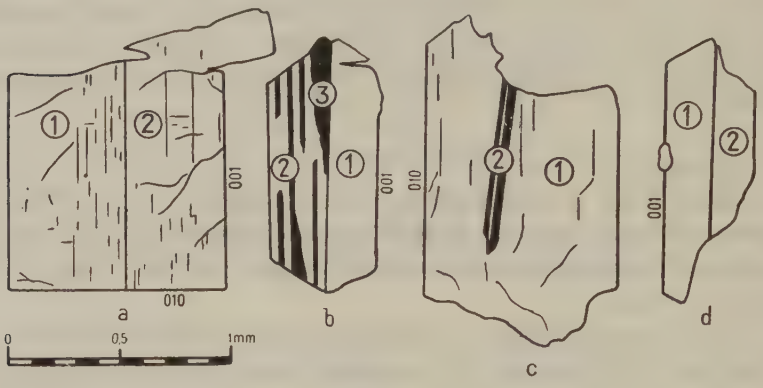



Fig. 3

Der kleine Achsenwinkel und die sehr niedrige Brechung sprechen für die Sanidin-Natur dieser Alkalifeldspäte. Dagegen, und für Anorthoklas, spricht die Abweichung der Pole von $n_\gamma$ und der Spaltbarkeit 010 und das Auftreten von polysynthetischen Albit- und Periklinlamellen, mit anderen Worten die deutlich trikline Symmetrie. Die Projektionen von zwei Spaltrissysteme (001 und 010) zeigenden Körnern wurden mit den NIKITIN-Stereogrammen (Lit. 39) der Alkalifeldspäte verglichen. Die Übereinstimmung ist ebenfalls am besten mit Anorthoklas. Die Flächenpole 001 kommen sehr nahe zu denjenigen von NIKITIN zu liegen. Die 010-Flächen zeigen dagegen eine Abweichung bis $6^0$.

### *Gesteinsproben 23 und 64*

Die beiden Proben wurden dem gleichen Stock wie die Probe 65 in etwa 500 m Entfernung von dieser entnommen. Sie sind milchig weiss gefärbt und blasig ausgebildet. Die spindelförmigen Bläschen erreichen eine Länge von 3 mm und eine Breite von 1 mm. Diese porösen Gesteine besitzen ein spezifisches Gewicht von nur 2,05.

Unter dem Mikroskop zeigt die Grundmasse durch die Anordnung der Hohlräume Fliesstruktur. Die Glasbasis steht im Anfangsstadium der Entglasung und ist leicht kaolinisiert.

Die vereinzelten Einsprenglinge bestehen ebenfalls aus Alkalifeldspat und Quarz, mit einer schlierigen Verteilung, sodass manchmal der eine und manchmal der andere mengenmässig überwiegt. Die Feldspäte haben auch hier niedrigere Brechung als Kanadabalsam. Bei zwei Körnern, welche auf dem Fedoroff-Tisch gemessen werden konnten, liegt die optische Achsenebene, wie in den vorgängig beschriebenen Anorthoklasen, beinahe senkrecht 010, und der Achsenwinkel beträgt bei einem Korn $-28^0$ und beim anderen $-32^0$. Dieses letztere (s. Fig. 3, d) ist verzwillingt, und zwar nach dem Manebachergesetz. Es handelt sich offenbar auch in diesem Fall um Anorthoklas.

Ihrer Frische und ihres glasigen Habitus wegen werden diese sauren Gesteine besser als Vitrophyre und nicht als Quarzporphyre bezeichnet.

Es schien von Interesse, bei diesen sauren Gläsern über die chemische Zusammensetzung einen Anhaltspunkt zu haben. Deshalb wurde die Gesteinsprobe 65 einer chemischen Analyse unterzogen, welche folgende Werte lieferte:

| | Gew. % | | Mol Werte | |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 71,94 | si | 415 | |
| $Al_2O_3$ | 12,36 | al | 42 | |
| $Fe_2O_3$ | 0,18 | fm | 6 | |
| FeO | 0,24 | c | 1 | |
| MnO | 0,05 | alk | 41 | |
| MgO | 0,41 | | | |
| CaO | 1,74 | k | | 0,44 |
| $Na_2O$ | 4,07 | mg | | 0,55 |
| $K_2O$ | 4,85 | | | |
| $H_2O^+$ | 4,49 | | | |
| $H_2O^-$ | 0,12 | | | |
| $TiO_2$ | 0,02 | | | |
| $P_2O_5$ | — | | | |
| Summe | 100,47 | | | |

Nach den mol. Werten ist das Gestein dem alkaligranitaplitischen Magmentyp einzureihen. Der chemische Bestand stimmt gut mit demjenigen der Vitrophyre überein, welcher der chemischen Zusammensetzung der Liparite resp. Quarzporphyre gleicht, jedoch durch den hohen Wassergehalt charakterisiert ist.

## Zur Entstehungsgeschichte der Ergüsse von Işikdağ

Von den wenigen Autoren, welche sich mit der Untersuchung der galatischen Ergussgesteine befasst haben, äussert sich nur F. Angel (Lit. 1), jedoch eingehend, zur Entstehungsgeschichte dieser Gesteine. Die mikroskopische Untersuchung eines sehr umfangreichen Gesteinsmaterials führt Angel zu der wichtigen Schlussfolgerung, dass die Ausgangsschmelze dieses Gesteinsstammes nicht das Basaltmagma sein kann. Er stützt sich dabei namentlich auf die Tatsache, dass eigentliche Basalteinschlüsse in diesen Gesteinen sehr zurücktreten, dagegen Einschlüsse von Tiefengesteinscharakter vorherrschen. Das Studium dieser letzteren führt Angel zu dem Schluss, dass die vorliegende Ergussgesteinsentwicklung sich von einer sekundären Stammschmelze herleite, nämlich von einer Schmelze, die durch Wiederverflüssigung von Tiefengesteinsmassen granitosyenitischen Charakters entstanden sei.

Die Gesteine, welche wir untersucht haben, stammen nur aus einem kleinen Teil (Işikdağgebiet) dieser ausgedehnten Ergussmasse. Wir konnten hier, mit Ausnahme des Quarzes, die Feststellungen Angel's nicht beobachten. Bei einigen der von uns beschriebenen Vulkanite (hybride Andesite) tritt der Quarz als Fremdling auf, eine Erscheinung, die ja überaus verbreitet ist. Es liegt da wohl am nächsten, die Hybridisierung im Laufe des Hinaufdringens des magmatischen Schmelzflusses durch die durchbrochenen Gesteine entstanden zu denken.

Beim heutigen Stand der Kenntnisse ist es leider in den meisten Fällen äusserst schwer zu entscheiden, ob ein Gestein direkt aus einem ursprünglichen Schmelzfluss entstand oder durch Wiederverflüssigung älteren Gesteinsmaterials palingen gebildet wurde. Ganz besonders schwierig ist der Entscheid dieser Frage bei Ergussgesteinen, da wir noch über kein Kriterium zur Unterscheidung juveniler und palingener Magmen und der daraus entstandenen Gesteine verfügen. Die weittragenden Folgerungen Angel's, welche ausschliesslich auf mikroskopischer Untersuchung beruhen, scheinen uns daher, trotz der wertvollen Beobachtungen, nicht zwingend zu sein.

## SEDIMENTE

Wie schon beschrieben wurde, liegt die Erzlagerstätte von Işikdağ in oberkretazischen Sedimenten. Nach V. Tschepinsky (Lit. 59, S. 37) ist die Kreide der Türkei weder petrographisch noch lager-

stättenkundlich von Interesse. Dagegen betrachtet KOVENKO (Lit. 28, S. 300) die obere Kreide dieses Landes als eine Epoche der Förderung andesitischer Laven und Tuffe, sowie der Ablagerung von oft manganhaltigen Mergeln und Kalken.

Unter den Erzlagerstätten Anatoliens, welche bisher geologisch untersucht wurden, befinden sich in kretazischen Sedimenten ausser dem Erzvorkommen von Işikdağ noch zahlreiche, zum Teil wirtschaftlich sehr wichtige Erzlagerstätten (z. B. die silberhaltigen Bleiminen von Gümüşhane, die Kupfergruben von Kuvarshane u. a. m.).

Es standen uns auch von den Sedimenten der Erzlagerstätte von Işikdağ einige Proben für die Untersuchung zur Verfügung. Sie sind von hell- bis dunkelgrauer Farbe und von wechselreicher Zusammensetzung. Von fast reinen Kalken über sandige Kalke und Mergel bis zu fast reinen Tonen finden sich alle Übergänge. Es konnten an Proben aus der Lagerstätte selbst oder aus ihrer unmittelbaren Nähe folgende Kalkgehalte bestimmt werden:

| Probe No. | 9 | 12 | 25 | 8 | 7 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kalkgehalt in % | 1,0 | 4,1 | 5,5 | 48,7 | 55,5 | 91,5 |

Die Sedimentproben zeigen unter dem Mikroskop einen Rekristallisationserscheinungen zeigenden Kalkspat, zum Teil verzahnte und zum Teil rundliche, 0,04 bis 0,2 mm grosse Quarzkörnchen und Schuppen von einem tonigen Mineral. Manche Proben enthalten auch bis 15 Vol.% Erzkügelchen (vorwiegend Pyrit) oder Erzstäbchen (Arsenkies). Die Kügelchen haben einen Durchmesser von 0,01—0,1 mm; die Stäbchen können eine Länge von 2—3 mm erreichen (nur in einem Handstück wurden auch solche von 5 mm Länge beobachtet). In einigen Proben waren filziger Turmalin sowie 0,03—0,05 mm grosse Zinnsteinkörnchen festzustellen.

Das spezifische Gewicht variiert zwischen 2,59 und 2,86.

## Die Erzlagerstätte von Işikdağ

### Einleitung

Nach einem Bericht von W. FISCHBACH (Lit. 17) aus dem Jahr 1900 sind die Minen des Işikdağ etwa um das Jahr 1800 wegen Wasserschwierigkeiten stillgelegt worden. Zudem ergaben sich Absatzschwierigkeiten, da das aus dem antimonhaltigen Roherz gewonnene „Hartblei" für Gewehrschrot nicht taugte.

Die grossen Schlackenhalden liefern den Beweis, dass damals ein verhältnismässig intensiver Schmelzbetrieb stattgefunden haben musste. Die Direktion des M. T. A. sah sich deshalb in der gegenwärtigen Zeit veranlasst, die Untersuchung und den eventuellen Abbau dieses Erzvorkommens wieder an die Hand zu nehmen.

Da die alten, abgebauten Strecken teilweise zusammengestürzt sind, schien es zweckmässig, etwa 20 m unterhalb des alten Stollens einen neuen Stollen

vorzutreiben. Dabei bestand auch die Hoffnung, das Erz in einem noch reicheren Niveau anzutreffen. Die Angriffstelle wurde von KOVENKO (Lit. 26) bestimmt. Nach der Vermutung dieses Autors sollte man die Vererzung nach 150, höchstens 180 m Vortrieb antreffen. Der Stollen, dessen Länge 200 m erreicht hat, stiess jedoch nirgends auf eine nennenswerte Vererzung, und die Vorrichtungsarbeiten wurden im Herbst 1942 eingestellt.

Unser Untersuchungsmaterial wurde während dieser Periode aufgesammelt und stammt in der Hauptsache aus dem Stollen $T_{11a}$ (Höhe = 1541 m über Meer).

## DIE ERZMINERALIEN

### Yenerit, ein neues Pb-Sb-Sulfosalz

Nach A. SCHROEDER (Lit. 56, S. 220) beobachtet man in der Erzlagerstätte von Işikdağ „ein silberhaltiges Blei-Antimon-Sulfosalz, das auf Grund seiner optischen und chemischen Merkmale als Boulangerit angesprochen wird". Nach demselben Autor findet sich dort ferner in Hohlräumen von Erzstücken „ein nadliges Erzmineral, dessen Analyse die Gewichtsprozentzahlen

$$Pb = 51{,}28 \qquad Sb = 20{,}19$$

zeigt. Die entsprechenden Molzahlen genügen der Proportion 2,99 : 2. Es handelt sich daher auch bei diesem nadligen Mineral um Boulangerit".

Dieses Blei-Antimon-Sulfosalz wurde von uns einer eingehenden Prüfung unterzogen, die ein vom obigem abweichendes Resultat ergab. Als Grundlage für die Beurteilung wurden die Arbeiten von J. E. HILLER (Lit. 23 und 24) und P. RAMDOHR und O. OEDMAN (Lit. 48) gewählt. Die ebenfalls modernen Arbeiten der amerikanischen Autoren L. G. BERRY (Lit. 5) bzw. M. A. PEACOCK und L. G. BERRY (Lit. 45) und CH. PALACHE und H. BERMAN (Lit. 44), deren Angaben den Ergebnissen der vorgenannten Autoren nur teilweise entsprechen, sind in der Differenzierung innerhalb der Bleispiessglanzreihe weniger weit fortgeschritten. Es scheint deshalb auch fraglich, ob das von ihnen verwendete Untersuchungsmaterial wirklich identisch mit demjenigen HILLER's war.

Der Vergleich der Eigenschaften des Bleispiessglanzes von Işikdağ mit den Angaben von HILLER und RAMDOHR-OEDMAN führte zur Feststellung, dass es sich nicht um Boulangerit handelt, sondern um einen, dem RAMDOHR-OEDMAN'schen Falkmanit sehr nahestehenden, neuen Vertreter der Blei-Antimon-Sulfosalze. Wir schlagen für ihn den Namen Yenerit vor, nach Herrn Dipl.-Bergingenieur H. YENER, ehemaliger Generaldirektor des M. T. A.

*Makroskopische Beschreibung*

Der Yenerit ist eines der häufigsten Erzmineralien in der Lagerstätte von Işikdağ und findet sich dort sowohl derb als auch in Form von sehr feinen Nadeln.

Derb ist er grauschwarz und färbt mit Leichtigkeit schwarz ab. H. Fischbach (Lit. 17) berichtet anlässlich eines Besuches in Işikdağ von einer Pb-Sb-Erzlagerstätte, welche ein „graphithaltiges Manganerz" enthalte. Dieses „graphithaltige Manganerz" ist sehr wahrscheinlich nichts anderes als Yenerit. Die leichte Schmierfähigkeit des Yenerits zeigt schon, dass er sehr weich ist; die Härte beträgt 2 bis 2,5. Der derbe Yenerit tritt oft verwachsen mit Gangartmineralien auf; meist mit Kalkspat, Quarz, gelegentlich mit filzigem Turmalin, ganz selten mit Parankerit. Mit dem letzten bildet er Knäuelchen von wenigen Millimetern Durchmesser. Solche Knäuelchen wurden schon für die Verwachsung Boulangerit-Parankerit beschrieben (Lit. 22, S. 447).

Feinnadelig findet man den Yenerit in Hohlräumen der Erzstücke (s. Taf. I, Abb. 1). Oft häufen sich die Nadeln zu Büscheln. Sie können, allerdings selten, eine Länge von 5 mm erreichen; ihre Dicke beträgt 0,02—0,05 mm. Bei diesen geringen Dimensionen war eine kristallographische Untersuchung ausgeschlossen. Auch die bei den Bleispiessglanzen übliche Streifung in der Längsrichtung (// b) konnte makroskopisch nicht beobachtet werden. Die Farbe der durch metallischen Glanz ausgezeichneten Nadeln ist grauschwarz, mit einem leichten Stich nach bläulichgrün; der Strich ist schwarz und ändert beim Ausreiben die Farbe kaum.

Eine Anwitterung des Yenerits wurde in den untersuchten Proben nicht festgestellt.

*Spezifisches Gewicht*

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes erfolgte an unter der Lupe aussortierten Nadeln nach der Pyknometermethode, wobei als Pyknometerflüssigkeiten Benzol sowie Alkohol dienten. Im Gegensatz zu Wasser benetzen diese Flüssigkeiten das Mineral gut, und die letzten Luftblasen liessen sich schon durch leichtes Evakuieren entfernen. Verschiedene Bestimmungen lieferten nahe übereinstimmende Resultate; die extremen Werte betrugen 6,02 und 6,07. Als Mittelwert wurde berechnet:

Spezifisches Gewicht von Yenerit = 6,05.

Trägt man die von HILLER röntgenographisch-strukturell untersuchten Bleispiessglanze in ein Koordinatennetz ein, wobei die Ordinate den Bleigehalt in Gewichts%, die Abszisse die berechneten spezifischen Gewichte (für Falkmanit das empirisch ermittelte) angeben, so resultiert das in Fig. 4 dargestellte Bild. Die bei den Mineralnamen stehenden Ziffern geben das Molverhältnis PbS : $Sb_2S_3$ für das entsprechende Mineral. Die Projektionspunkte der Mineralien liegen auf einer ziemlich gleichmässig ansteigenden Kurve. Würde eine isomorphe Reihe von Antimonglanz zu Bleiglanz vorliegen, so nähme die Kurve den Verlauf der gestrichelten Geraden

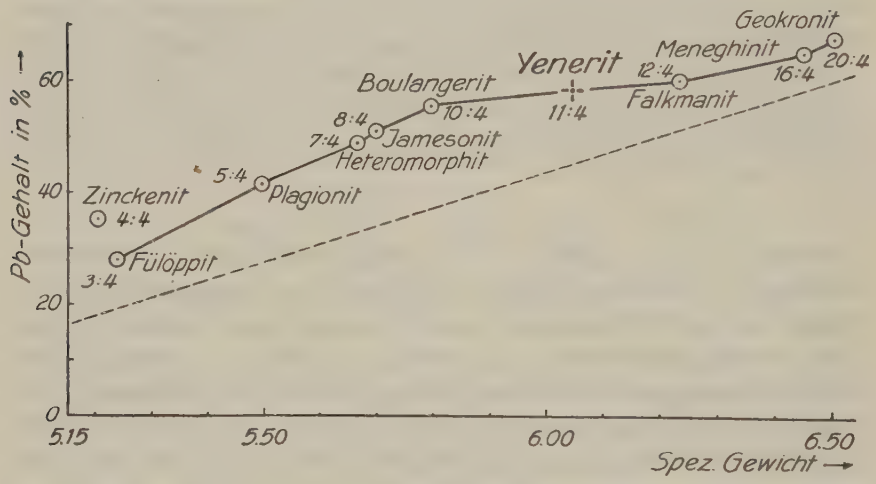



Fig. 4.

an. Trägt man den für Yenerit gefundenen Wert des spezifischen Gewichts in dieses Diagramm ein, so fällt er zwischen die Werte von Boulangerit und Falkmanit, wo sich die verhältnismässig grösste Lücke befindet. Der im Schnittpunkt mit der Kurve resultierende Ordinatenwert stimmt mit dem Bleigehalt der chemischen Analyse von Yenerit recht genau überein.

Es scheint, dass eine solche Kurve ein bequemes Hilfsmittel zur Bestimmung von Blei-Antimon-Sulfosalzen darstellen könnte, vorausgesetzt, dass genügend reines Material zur Bestimmung des spezifischen Gewichts zur Verfügung steht. Vorläufig gilt allerdings die Einschränkung, dass die Kurve noch durchaus nicht gesichert ist, da zwischen den Strukturbestimmungen und den daraus errechneten spezifischen Gewichten verschiedener Autoren noch erhebliche Differenzen bestehen. Störend wirkt auch die Unstimmigkeit bei Zinckenit-

Fülöppit, da der erstere trotz höheren Bleigehaltes ein niedrigeres spezifisches Gewicht aufweist.

*Pyrognostisches Verhalten*

Yenerit gibt im geschlossenen Rohr kein Sublimat; im offenen Rohr setzt sich im unteren Teil $Sb_2O_4$ ab. Er schliesst sich damit dem Verhalten des Boulangerits an, während Jamesonit, Plagionit, Zinckenit (also die antimonreicheren Glieder der Familie) im geschlossenen Rohr ein kirschrotes Sublimat von $Sb_2S_2O$ ergeben (Lit. 50). Vor dem Lötrohr auf Kohle schmilzt der Yenerit und setzt in der Nähe der Probe gelbliche, etwas weiter weg weisse Beschläge ab. Mischt man ihn vorher mit Soda, so scheiden sich Metallkügelchen ab, die auf der Kohle Beschläge von Antimon- und Bleioxyd geben.

## Erzmikroskopische Untersuchung

Wie makroskopisch, so gleichen sich die Bleispiessglanze auch unter dem Mikroskop weitgehend, und der Yenerit macht keine Ausnahme. Immerhin zeigt er gewisse Verschiedenheiten, selbst gegenüber Boulangerit und Falkmanit, denen er chemisch (und strukturell?) am nächsten steht.

*Spaltbarkeit, Härte, Polierverhalten*

Obwohl der Yenerit auch in relativ grossen Körnern vorkommt, konnte in keiner Schnittlage eine deutliche Spaltbarkeit beobachtet werden.

Yenerit ist weicher als Bleiglanz: die Lichtlinie wandert beim Heben des Tubus sehr deutlich in den ersteren. Dem widerspricht auf den ersten Blick die Beobachtung, dass Schleifkratzer im Bleiglanz häufig an der Grenze Bleiglanz-Yenerit aufhören (s. Taf. II, Abb. 6) oder schwächer werden. Tatsächlich waren aber diese Kratzer in beiden Mineralien vorhanden und wurden beim Fortschreiten des Polierprozesses im Yenerit viel schneller beseitigt.

Die Erze von Işikdağ treten in meist sehr weichen Sedimenten auf. Sie sind unter sich, wie auch mit der Gangart, ausserordentlich innig verwachsen. Die Herstellung von Anschliffen ist daher meist eine langwierige Aufgabe, und fast jedes anzuschleifende Stück muss zuvor der Vakuumverkittung unterworfen werden. Trotz diesen Schwierigkeiten liess sich der Yenerit oft besser polieren, als man bei einem derart weichen Mineral erwartet hätte, und die Politur

ist meist schöner als die des Bleiglanzes. Vor allem gilt dies für die nadligen Einschlüsse von Yenerit in der Gangart.

*Reflexionsvermögen, Farbe, Anisotropieeffekte*

Wie Falkmanit, Boulangerit und Jamesonit wirkt auch der Yenerit in Reflexionsvermögen und Farbe bleiglanzartig. Bei näherer Betrachtung, besonders deutlich beim direkten Vergleich mit Bleiglanz, sieht man aber, dass er deutlich schwächer reflektiert als dieser (s. Taf. II, Abb. 6). Er zeigt im Vergleich zu Bleiglanz einen ganz charakteristischen, grünlichen Ton, während Bleiglanz einen Stich nach rosa aufweist.

Pleochroismus ist in Luft kaum verhanden: bei 45facher Vergrösserung kann man ihn gerade wahrnehmen, bei 370facher Vergrösserung ist er deutlicher, aber immer noch sehr schwach. Stark sind hingegen die Anisotropieeffekte (s. Taf. II, Abb. 5; Taf. III, Abb. 8 und Taf. III, Abb. 9): grünlichbraun rosabraun mit Übergängen je nach der Schnittlage des Kornes. In dieser Hinsicht besteht also eine gewisse Ähnlichkeit mit Arsenkies; die Farben sind jedoch beim Yenerit dunkler und weniger ausgeprägt.

In Ölimmersion (470fache Vergrösserung) ist das Reflexionsvermögen des Yenerits erhöht, und die Farbunterschiede gegenüber Bleiglanz treten stärker hervor. Der Reflexionspleochroismus wird sehr deutlich:

Längsrichtung = Stich ins Hellgrün
Querrichtung = Stich ins Olivgrün,

sodass bei vorsichtiger Beobachtung die Korngrenzen gut zu erkennen sind. Die Anisotropieeffekte gewinnen an Lichtstärke, sind jedoch arm an Buntfarben: bräunlich hellgraubläulich dunkelgrau. Die Auslöschung der nadlig ausgebildeten Individuen scheint oft gerade zu sein, doch wurde eine Auslöschungsschiefe bis zu $5^0$ festgestellt. Innenreflexe wurden keine beobachtet. In Ölimmersion treten zwar gelegentlich gelbliche Farben auf. Genaue Beobachtung zeigte aber, dass sie durch Nester von filzigem Turmalin verursacht waren.

*Ätzversuche*

Yenerit verhält sich gegenüber den üblichen Ätzmitteln wie die anderen Blei-Antimon-Sulfosalze, sodass auf diesem Wege kein Unterscheidungsmerkmal zu gewinnen ist.

KCN, $FeCl_3$, KOH, $HgCl_2$: negativ.

HCl (konz.): greift innerhalb 2 Minuten etwas an und gibt einen bräunlichgrauen Beschlag, welcher beim Abreiben zum grössten Teil verschwindet.

Nach Ramdohr-Oedman (Lit. 48, S. 329) soll konz. HCl Falkmanit, Boulangerit und Jamesonit allerdings nicht ätzen; nach Berry (Lit. 5, S. 9) dagegen wird Boulangerit durch dieses Reagens immerhin schwach grau befleckt. Da die Bleispiessglanze durch Erwärmen in konz. HCl ganz gelöst werden, ist zu erwarten, dass sie durch diese Säure auch im Anschliff leicht angegriffen werden.

$HNO_3$ (konz.): schwärzt unter Aufbrausen. Durch Abreiben lässt sich die Schwärzung etwas vermindern.

$HNO_3$ (1:1): wirkt wie konz. $HNO_3$, aber viel langsamer.

### *Innere Beschaffenheit der Individuen, Gefüge*

In den untersuchten Anschliffen findet sich der Yenerit in 2 Arten der Ausbildung:

1. Die verbreitetste Erscheinungsform ist die in Kornaggregaten (s. Taf. II, Abb. 6; Taf. III, Abb. 8). Diese werden von allotriomorphen, feingelappten, gestreckten und gebogenen Körnchen gebildet. Die Korngrössen sind verschieden: gestreckte Körner erreichen Längen bis zu 0,2 mm und Breiten bis 0,08 mm; isometrische Körner messen normalerweise etwa 0,05—0,1 mm im Durchmesser, können aber (nicht oft) bis 0,2 mm erreichen. Die gestreckten Körner löschen manchmal nicht ganz einheitlich aus.

Yenerit besitzt eine hohe Plastizität. Wo er von Quarzkörnern begleitet ist, passt er sich den Quarzkorngrenzen vollständig an. Ein Zerbrechen des Yenerits wurde selten beobachtet.

Grössere Körner von Yenerit zeigen gelegentlich lamellare Verzwillingung, die am deutlichsten bei starker Vergrösserung in Ölimmersion zu beobachten ist (s. Taf. II, Abb. 5; Taf. III, Abb. 8 und Abb. 9). Die äusserst feinen oder auch etwas breiteren polysynthetischen Zwillingslamellen verlaufen stets parallel, wie dies bei Jamesonit und Geokronit der Fall ist, und greifen nicht spindelig ineinander, wie es Ramdohr (Lit. 48, S. 329) für eine Probe von Falkmanit aus Sala berichtet.

2. Untergeordnet, aber immerhin häufig, findet sich der Yenerit in Form nadeliger Einschlüsse in Kalkspat, seltener in Quarz (s. Taf. I, Abb. 2; Taf. II, Abb. 3 und 4; Taf. III, Abb. 7). Es wurden Nadeln bis zu 0,45 mm Länge festgestellt; die Dicke beträgt höchstens 0,03 mm. (Manche Nadeln sind so fein, dass sie selbst bei stärkster Vergrösserung kaum sichtbar werden.) Auch die Nadeln sind stark gebogen (s. Taf. I, Abb. 2 und Taf. VII, Abb. 22) oder geknickt (s. Taf. II, Abb. 3), äusserst selten dagegen zerbrochen. Ihre Orientierung ist regellos, manchmal häufen sie sich zu Büscheln. Die Auslöschung ist nahezu gerade.

Oft begegnet man Nadeln, welche nahe der Anschliffsoberfläche, jedoch nicht in dieser liegen und die deshalb durch den Schleifprozess nicht erreicht wurden. Dank der Durchsichtigkeit der Gangart sieht man sie relativ deutlich, und es liess sich an ihnen bei stärkster Vergrösserung feststellen, dass der Yenerit, gleich den anderen Bleispiessglanzen, eine Streifung parallel zur Längsachse aufweist (s. Taf. III, Abb. 7).

Solche Nadeln werden bei gekreuzten Nicols durch Interferenzfarben besser sichtbar, wobei die Längsstreifen manchmal verschiedene Farben zeigen. Da sie gewöhnlich der Anschliffsoberfläche nicht parallel liegen, zeigen die längeren bei gekreuzten Nicols einige Ordnungen der Interferenzfarbenskale. In Öl sind die Farbeffekte stärker. Diese Nadeln löschen in der Regel schief aus, mit Winkeln, welche von der Dicke der darüber liegenden Gangartschicht abhängig sind.

Im allgemeinen sind die Yenerit-Nadeln im Kalkspat viel schöner ausgebildet als im Quarz. In Quarz sind mehr unregelmässige, fetzenartige Einschlüsse von Yenerit zu beobachten (s. Taf. II, Abb. 4).

### *Besondere Gefügearten und Genesis*

Die Blei-Antimon-Sulfosalze sind oft mit Bournonit sowie mit Bleiglanz verwachsen. Yenerit wurde gewöhnlich in grober Verwachsung mit Bleiglanz beobachtet (s. Taf. III, Abb. 6; Taf. III, Abb. 9). Die Grenzlinien sind meist unregelmässig gewellt, ohne scharfe Ecken und Kanten. An einigen Stellen umhüllt der Yenerit den Bleiglanz, sonst wurde keine besondere Gefügeart festgestellt.

Wäre in dieser Verwachsung von Yenerit mit Bleiglanz noch ein anderer Bleispiessglanz vorhanden, so würde man an eine Reaktionsumbildung denken. Im vorliegenden Fall muss angenommen werden, dass die Bildung von Yenerit und Bleiglanz fast gleichzeitig vor sich ging. Dies lässt sich folgendermassen erklären: die physikalisch-chemischen Bildungsbedingungen begünstigten die Entstehung von Yenerit, für welche alle in der Erzlösung vorhandenen Antimonionen herangezogen wurden. Die im Überschuss vorhandenen Bleiionen bildeten Bleiglanz.

Das Auftreten nadeliger Einschlüsse von Yenerit in Kalkspat und Quarz spricht ebenfalls für die Primärbildung dieses Erzminerals.

Nach Ramdohr (Lit. 48, S. 331) durchspicken Boulangerit und Jamesonit als feine Nadeln andere Erze, z. B. Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Spateisen; bei Falkmanit ist das bisher nicht beobachtet worden. Ebenfalls wurde dies bei Yenerit nicht festgestellt.

Yenerit verdrängt oft Arsenkies (s. Taf. II, Abb. 6). Manchmal

sind in ihm noch winzige Relikte von Arsenkies zu beobachten. Es ist möglich, dass der analytisch festgestellte Arsengehalt des Yenerits von solchen Relikten herrührt.

Tabelle 1

Erzmikroskopische Charakterisierung von Falkmanit (F), Boulangerit (B), Jamesonit (J) — nach den Angaben von RAMDOHR (Lit. 48) — und von Yenerit

| | Falkmanit | Yenerit | Boulangerit | Jamesonit |
|---|---|---|---|---|
| Spaltbarkeit | deutlich | keine | undeutlich | sehr deutlich |
| Reflexionsfarbe (Stich) | bläulich oder grünlich | deutlich grünlich | keine | gelbgrünlich |
| Anisotropieeffekte Luft | wie Y ohne Stich ins blau | grünlichblau rosabraun | schieferblau-bräunlichweiss | grauweiss-graublauweiss |
| Anisotropieeffekte Öl | Zwischenstellung zwischen B und J | bräunlich hellgrau-bläulich dunkelgrau | grau-grauweiss | bunter und leuchtender als in Luft |
| Innenreflexe | tiefrote | keine | unsicher | keine |
| Lamellare Zwillinge | im allg. keine | manchmal | nie beobachtet | sehr häufig |
| Auslöschung | schief | schief (bis 5°) | gerade | schiefer als bei F |
| Verbiegung Knickung | selten | häufig | selten | häufig |
| Durchspikkung anderer Erze | nicht beobachtet | nicht beobachtet | häufig | häufig |

Trotz der Angabe von SCHROEDER (Lit. 56, S. 220) über einen ziemlich hohen Silbergehalt von etwa 1500 g pro Tonne, konnte im Yenerit mikroskopisch kein Silbermineral gefunden werden (vgl. S. 65).

An den untersuchten Proben von Yenerit wurden auch mikroskopisch keinerlei Verwitterungserscheinungen beobachtet. Dagegen hat SCHROEDER (Lit. 56, S. 216) in Işikdağ auf „Boulangeritnadeln" aufgewachsene kleine, fast idiomorph ausgebildete, rhombische Kristalle von Valentinit ($Sb_2O_3$) festgestellt. P. DE WIJKERSLOOTH fand nach einem Bericht von ZIEGLER (Lit. 63, S. 10) in den Erzen von Işikdağ mikroskopisch Valentinit. Demnach wäre in diesen Vorkommen der Valentinit als Verwitterungsprodukt des Yenerits anzusprechen.

## Röntgenographische Untersuchung

Von einem nadligen Kristall (Länge 1 mm, Durchmesser ca. 0,02 mm) wurde eine Drehaufnahme um die Nadelachse hergestellt, welche als Identitätsperiode parallel dieser Achse den Wert

$$I = 8{,}05 \pm 0{,}05 \text{ Å}$$

ergab, während für Boulangerit von HILLER (Lit. 23) 8,04 Å, von BERRY (Lit. 5) $8{,}07 \pm 0{,}02$ Å und von HURLBUT (von PALACHE und BERMAN = Lit. 44) 8,00 Å und für Falkmanit von HILLER (Lit. 24) $8{,}10 \pm 0{,}02$ Å angegeben werden. Demnach ergibt sich für die Identifizierung des Yenerits hieraus keine Entscheidung, was bei der nahen Übereinstimmung der betreffenden Identitätsperioden bei den meisten bisher untersuchten Bleispiessglanzen auch nicht zu erwarten war.

Eine Pulveraufnahme desselben Materials zeigte die in der Tabelle 2 zusammengestellten Linien, welche, mit denjenigen von Boulangerit bzw. Falkmanit verglichen, eindeutig die Verschiedenheit dieser zwei Mineralien von dem neuen Mineral aufweisen. Ein Vergleich der Yeneritlinien mit den für Bleiglanz und Antimonglanz hinsichtlich Lage und Intensität berechenbaren ergibt, dass diese Kristallarten höchstens in röntgenographisch nicht mehr nachweisbaren Mengen im Yenerit vorhanden sein könnten.

## Chemische Untersuchung

Für die endgültige Analyse standen nur 0,5 g eines durch Quarz und Zinkblende leicht verunreinigten Materials zur Verfügung. Es wurde deshalb die nachstehend skizzierte Analysenmethode gewählt, welche sämtliche Bestandteile in einem Gang zu bestimmen gestattete:

Zersetzung der Substanz mit konz. Salzsäure im Wasserstoffstrom, Auffangen des entwickelten Schwefelwasserstoffs in ammoniakalischem Wasserstoffperoxyd und Bestimmung des Schwefels als Bariumsulfat. Abdestillation des nicht mit dem Schwefelwasserstoff verflüchtigten Arsens als Arsentrichlorid, Vereinigung mit dem verflüchtigten Teil und Bestimmung des Arsen-(V)sulfid. Verdünnung und Filtration des salzsauren Destillationsrückstandes, Wägung der ungelösten Fremdsubstanzen (Quarz, eventuell Pyrit und Arsenkies). Im Filtrat Abtrennung des Antimons und des Bleis durch fraktionierte Fällung mit Schwefelwasserstoff ($Sb^{\cdot\cdot}$ in ca. 2n HCl, $Pb^{\cdot\cdot}$ in fast neutraler Lösung. Die Trennung ist sehr einfach durchzuführen und gibt gute Resultate; Kontrolle des zuerst gefällten Antimon(III)sulfids auf mitgefälltes Bleisulfid ist nötig, jedoch auch bei den „klassischen" Trennungsmethoden sehr zu emp-

Tabelle 2

Vergleich der Pulverdiagramme von Yenerit, Falkmanit, Boulangerit

| No. | Boulangerit $I_{rel.}$ | Boulangerit $\sin^2\vartheta$ | Yenerit $I_{rel.}$ | Yenerit $\sin^2\vartheta$ | Falkmanit $I_{rel.}$ | Falkmanit $\sin^2\vartheta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | — | | — | ssw | 0,0482 |
| 2 | ssw | 0,0547 | ssw | 0,0534 | sw | 0562 |
| 3 | sw | 0620 | sw | 0642 | sw | 0612 |
| 4 | | — | ssw | 0658 | | — |
| 5 | st | 0679 | st | 0703 | st | 0678 |
| 6 | | — | sw | 0729 | ssw | 0740 |
| 7 | | — | sw | 0821 | ssw | 0792 |
| 8 | | — | m | 0885 | m | 0851 |
| 9 | | — ! | m | 0937 | m | 0905 |
| 10 | | — | sw-m | 1004 | m | 0972 |
| 11 | m | 1039 | $m^+$ | 1062 | st | 1028 |
| 12 | st | 1190 | st | 1216 | sst | 1186 |
| 13 | m | 1299 | m | 1333 | m | 1277 |
| 14 | sw | 1403 | sw-m | 1439 ! | | — |
| 15 | | — | u | | sw | 1660 |
| 16 | m | 1716 | sw | 1708 | | 1714 |
| 17 | | — | sw | 1754 | verw. | 1753 |
| 18 | m | 1881 | sw- | 1800 | m | 1850 |
| 19 | m | 2047 | m | 2089 | m | 2026 |
| 20 | st | 2243 ! | sw verw. | 2279 | m | 2214 |
| 21 | | — | sw | 2364 | m | 2309 |
| 22 | sw | 2446 | | — | ssw | 2439 |
| 23 | m | 2545 | sw | 2530 | m | 2536 |
| 24 | | — | m-st | 2601 ! | | — |
| 25 | sst | 2707 | st | 2764 | sst | 2701 |
| 26 | sw | 2824 | | — | | — |
| 27 | st. verw. | 3032 ! | sw | 3045 | st | 3032 |
| 28 | | — | m-st | 3097 | m | 3143 |
| 29 | | — | sw-m | 3203 | ssw | 3325 |
| 30 | ssw | 3394 | | — | | — |
| 31 | | — | ssw verw. | 3492 | sw | 3602 |
| 32 | | — | | — | sw | 3659 |
| 33 | ssw | 3735 | sw | 3795 | | — |
| 34 | ssw | 4020 | sw- | 4080 | sw | 4019 |
| 35 | m | 4352 | s-m | 4430 | st | 4343 |
| 36 | sw | 4556 | sw | 4604 | sw | 4556 |
| 37 | st | 4740 | m-st | 4783 | sst | 4723 |
| 38 | | — | | — | sw | 4860 |
| 39 | | — | ssw | 5041 | sw | 4961 |
| 40 | | — | | — | sw | 5148 |
| 41 | sw | 5297 | | — ! | m | 5244 |
| 42 | | — ! | ssw | 5366 | m | 5349 |
| 43 | | — | | — ! | m | 5480 |

Tabelle 2 (Fortsetzung)

| No. | Boulangerit $I_{rel.}$ | Boulangerit $\sin^2\vartheta$ | Yenerit $I_{rel.}$ | Yenerit $\sin^2\vartheta$ | Falkmanit $I_{rel.}$ | Falkmanit $\sin^2\vartheta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 44 | m | 0,5571 | ssw | 0,5585 | m | 0,5580 |
| 45 | — | | — | ! | m | 5757 |
| 46 | st | 6106 | sw | 6144 | m | 6113 |
| 47 | — | | — | | sw | 6210 |
| 48 | — | | sw | 6409 | m | 6361 |
| 49 | sw | 6466 | sw | 6477 | — | |
| 50 | — | | sw verw. | 6636 | m | 6697 |
| 51 | sw | 6963 | sw | 7067 | — | |
| 52 | — | | sw verw. | 7215 | — | |
| 53 | sw | 7424 | sw | 7463 | — | |
| 54 | — | | sw verw. | 7665 | — | |
| 55 | — | | sw | 7944 | — | |
| 56 | st | 8171 | m-st | 8198 | sw-m | 8178 |
| 57 | | | m-st | 9345 | | |

Anmerkung: ssw = sehr schwach, sw— = etwas schwächer als schwach, sw = schwach, m = mittel, m+ = etwas stärker als mittel, st = stark, sst = sehr stark, u = undeutlich, verw. = verwaschen; die Daten für Boulangerit und Falkmanit stammen von Ramdohr-Oedman (Lit. 48) (FeK-Strahlung); unsere Aufnahme wurde mit FeK-Strahlung (12 mA, 30 kV, 8 h) hergestellt; die $\beta$-Linien nachträglich ausgesondert; Ausrufungszeichen weisen auf deutliche Unterschiede in den Diagrammen hin.

Tabelle 3 Analyse von Yenerit

| | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Pb | 43,72 | 57,32 | 277 | 276 |
| Sb | 18,00 | 23,60 | 194 | 200 |
| As | 1,40 | 1,83 | 24 | |
| S | 14,98 | 17,06 | 534 | 576 |
| Fe | 1,16 | | | |
| Zn | 2,68 | | | |
| Ca | 0,52 | | | |
| Mg | 0,26 | | | |
| Unlösl. | 15,72 | | | |
| Total | 98,44 | 99,81 | | |

Kolonne I: Analyse der Gesamtsubstanz (Gewichtsprozent).
Kolonne II: Analyse des Yenerits, gewonnen aus den Zahlen unter I durch Verrechnung des Fe und Zn als Zinkblende (ZnS, FeS) und des Ca und Mg als Karbonate (entsprechend dem Mineralbestand) und nachherigem Abzug der Fremdsubstanzen.
Kolonne III: Die auf 100% umgerechneten Molzahlen zu II.
Kolonne IV: Die der Formel $11\,PbS, 4\,Sb_2S_3$ entsprechenden Molzahlen.

fehlen), Wägung als Antimon(III)sulfid bzw. als Bleisulfat. Im Filtrat der Sulfidfällungen Bestimmung von Eisen, Zink, Calcium und Magnesium nach den üblichen Methoden.

Zu den in Tabelle 3 zusammengestellten Analysenresultaten ist folgendes zu bemerken: Silber konnte im Analysengang nicht nachgewiesen werden; auf Kupfer, Wismuth und Eisen war in Voruntersuchungen an reinerem Material geprüft worden, wobei lediglich Spuren von Cu und Fe gefunden wurden *). Was die Zuverlässigkeit der Resultate betrifft, so ist wahrscheinlich der Wert für Schwefel zu niedrig ausgefallen, da 1. die angewandte Methode nur den sulfidischen, nicht aber eventuell oberflächlich zu Sulfat oxydierten Schwefel erfasste und 2. die Möglichkeit leichter Schwefelwasserstoffverluste durch Absorption an feuchten Stellen der Verbindungsleitung zwischen Zersetzungs- und Absorptionsgefäss während der Analyse zu wenig beachtet wurde.

Was die Formel des Yenerits betrifft, so ist für ihre Aufstellung vor allem das Molverhältnis von Blei zu Antimon wesentlich. Bei Nichtberücksichtigung des Arsengehaltes würde es 2,86 : 2 betragen, das zwischen den von RAMDOHR (Lit. 48) für Falkmanit (3:2) und Boulangerit (2,5 : 2) angegebenen Verhältniszahlen liegt. Rechnet man das gesamte Arsen zum Antimon, wie es üblicherweise geschieht, so resultiert ein Verhältnis Pb : (Sb + As) von 2,54 : 2, nahe dem für Boulangerit. Diese „normale" Art der Verrechnung scheidet aber aus zwei Gründen aus:

1. Infolge der teilweisen Vertretung des Antimons durch Arsen müsste das spezifische Gewicht des vorliegenden Minerals etwas tiefer zu liegen kommen als das von Boulangerit, ist aber tatsächlich wesentlich höher.

2. Die nach dem Schema $x\,PbS \cdot y\,(Sb+As)_2S_3$ aufgestellte Formel würde einen Schwefelgehalt von 18,94 % verlangen, was der Analyse in keiner Weise entspricht, auch wenn man annimmt, ihr Schwefelgehalt sei zu niedrig.

Rechnet man umgekehrt das gesamte Arsen zum Schwefel hinzu, so wird die Zahl der Anionen wesentlich zu hoch. Es scheint deshalb richtig, das Arsen teilweise zum Antimon, teilweise zum Schwefel zu schlagen. (Dieses Vorgehen findet eine Stütze in der Tatsache, dass Yenerit häufig Arsenkies verdrängt, also seinen Arsengehalt von diesem übernehmen kann; im Arsenkies tritt aber das Arsen sehr wahrscheinlich in einer Doppelrolle überwiegend elektronegativen

*) Dieses Material diente auch für die Röntgenaufnahmen.

Charakters auf; keinesfalls ist es darin elektropositiv.) Nimmt man die Verteilung unter Voraussetzung der Richtigkeit der Analysenwerte so vor, dass Äquivalenz von Kationen und Anionen resultiert, so erhält man ein Molverhältnis von Pb : (Sb+As) von 2,82 : 2. Das wahre Verhältnis dürfte wegen des zu niedrig bestimmten Schwefelwertes kleiner sein. Wir erhalten dann als mögliche, rationale Formel des Yenerits

$$11\,PbS \cdot 4\,Sb_2S_3$$

entsprechend dem Molverhältnis Pb : Sb = 2,75 : 2. Zur sicheren Entscheidung, ob diese mögliche Formel die tatsächliche ist, reicht die Qualität dieser Analyse nicht aus. Immerhin steht fest, dass die Zusammensetzung des Yenerits zwischen den von RAMDOHR angegebenen Formeln für Boulangerit und Falkmanit liegt (s. Fig. 3).

### *Zur Nomenklatur der Bleispiessglanze*

Die Wiedergabe der Untersuchungen über Yenerit abschliessend seien noch einige Bemerkungen über die Nomenklatur der Pb-Sb-Sulfosalze gestattet. Bereits heute ist die Mannigfaltigkeit der Bleispiessglanze so gross, die Zahl deutlicher Unterscheidungsmerkmale so klein, dass es einer längeren Untersuchung bedarf, Blei-Antimon-Sulfosalze mit Sicherheit zu bestimmen. Das Auffinden noch weiterer Vertreter der Familie ist wahrscheinlich, sodass mit der Zeit das Bedürfnis nach Vereinfachung durch eine zusammenfassende Nomenklatur unabweisbar werden wird. Nach welchen Gesichtspunkten die Vereinfachung vorzunehmen ist, welche Vertreter als selbständig und wohl definiert stehen bleiben werden, kann erst eine Erweiterung und vor allem Vertiefung unserer Kenntnisse dieser Familie klarstellen. Der Weg zur Vereinfachung führt also vielleicht zuerst über eine weitere Differenzierung. Doch sei heute schon gesagt, dass wir nicht betrübt sein würden, wenn der Name Yenerit eines Tages einer derartigen „Flurbereinigung" zum Opfer fallen sollte.

## Bleiglanz

Es sind deutlich zwei Generationen von Bleiglanz zu unterscheiden, wobei dieses Mineral in derber Ausbildung vorkommt:

Bleiglanz I stellt sich nur in Proben ein, bei welchen die Gangart in der Hauptsache von Kalkspat gebildet wird. Er tritt in dünnen, oft unterbrochenen Lagen auf, deren maximale Mächtigkeit 1 cm betragen kann. Von Yenerit ist er leicht durch seinen hohen metallischen Glanz zu unterscheiden.

Bleiglanz II kommt nur in Verwachsung mit Yenerit in den durch Imprägnation gebildeten Proben vor, wobei Quarz die vorwiegende Gangart ist. Infolge der innigen Vermengung dieser Erzmineralien ist deren Unterscheidung und Diagnostizierung nur unter dem Erzmikroskop möglich.

Eine einwandfreie Politur des Bleiglanzes von Işikdağ konnte nicht erreicht werden. Mit Chromoxyd poliert zeigten sich stets viele Kratzer; beim Polieren mit Magnesia usta verschwinden diese Kratzer; dagegen stellen sich dann zahlreiche dreieckige Spaltausbrüche ein.

*Erzmikroskopisches Verhalten des Bleiglanzes I*

Er ist reinweiss und glänzend. Bei gekreuzten Nicols ist er isotrop, doch herrscht nie völlige Dunkelheit. Typisch ist eine treppenförmige Anordnung der Spaltrisse, welche in der Regel durch Kalkspat ausgefüllt werden.

Strukturätzung wurde mit dem Fackert'schen Bleiglanzätzmittel (75—85%ige alkoholische Salpetersäure, Lit. 16, S. 27) erzielt. Die Körner sind im allgemeinen grösser als 2 mm und allotriomorph ausgebildet. Es ist weder Zonenbau noch Zwillingsbildung zu beobachten. Das Fehlen des Zonenbaues spricht dafür, dass der Bleiglanz aus höher temperierten Erzlösungen ausgeschieden wurde, da der Zonenbau im allgemeinen besonders schön bei Bleiglanzen zu beobachten ist, die sich bei niedriger Temperatur gebildet haben. Das Fehlen der Zwillingsbildungen wie auch von Anzeichen plastischer Deformationen, welche ihre Entstehung gewöhnlich einer mehr oder weniger starken Druckbeanspruchung verdanken (Lit. 55, S. 249) deutet darauf hin, dass seit der Bildung des Bleiglanzes keine wesentliche mechanische Beanspruchung stattgefunden hat.

Die Altersfolge von Bleiglanz I, Pyrit und Zinkblende ist nicht mit Sicherheit festzustellen, dagegen ist beim Arsenkies deutlich zu erkennen, dass er von Bleiglanz I verdrängt wird.

Das erzmikroskopische Verhalten des *Bleiglanz II* und seine Bildung wurden bereits beim Yenerit besprochen.

## Zinkblende

Die grobspätig-körnige Zinkblende tritt fast in jeder Probe in sehr wechselnden Mengen auf. Sie hat im allgemeinen eine hellbraune bis schwarze Farbe, seltener ist sie gelb, wobei dann meist

eine Zonarstruktur festzustellen ist. Bekanntlich hängt die Farbe der Zinkblende von ihrem Eisengehalt ab, und wir konnten feststellen, dass die schwarze Zinkblende von Işikdağ mehr als 20% Eisen enthält. Bis fast 1 cm grosse Zinkblendekristalle, welche in Hohlräume hineinragen, zeigen nur undeutliche Kristallform und zumeist korrodierte Flächen.

*Untersuchung im Dünnschliff*

Im Dünnschliff wechselt die Farbe der Zinkblende zwischen dunkelbraun und gelb. Die vorherrschende Zonarstruktur ist sehr gut erkennbar (s. Taf. III, Abb. 10). Die idiomorphe Kernpartie hat gewöhnlich eine dunkle Farbe, während die Hülle heller nuanciert ist und randlich stark korrodiert erscheint. Die umgekehrte Reihenfolge in der Färbung ist weitaus seltener zu beobachten. In vereinzelten Fällen können Kern- und Randpartie gleich dunkel gefärbt sein, sind aber durch eine hellere Zone voneinander getrennt. Die Farbgrenzen sind in der Regel ziemlich scharf; es können aber auch allmähliche Übergänge stattfinden.

Die Zonarstruktur bei Zinkblende beruht nach Schneiderhöhn-Ramdohr (Lit. 55, S. 106) zum Teil auf einem Wechsel im Eisengehalt, zum Teil auf einem Wechsel der Wachstumsgeschwindigkeit und damit verknüpftem Gehalt an Fremdeinschlüssen und Poren; nur der letzte Fall dürfte in geätztem Anschliff sichtbar sein. Da die im Dünnschliff so gut beobachtbare Zonarstruktur beim Ätzen des Anschliffs (s. Untersuchung im Anschliff) nicht sichtbar gemacht werden kann, dürfte die Zonarstruktur unserer Zinkblende zweifellos auf einen Wechsel im Eisengehalt zurückzuführen sein.

Es wurde oft beobachtet, dass von Pyrit oder Arsenkies teilweise umrandete Zinkblende dunkler gefärbt war als solche, die neben Yenerit oder den Gangartmineralien vorlag.

Die im Dünnschliff besonders gut erkennbaren Spaltrisse (s. Taf. III, Abb. 10) zeigen eine enge Scharung; der Abstand zwischen zwei Spaltrissen beträgt höchstens 0,08 mm.

*Untersuchung im Anschliff*

Die Reflexionsfarbe ist grau bis dunkelgrau; die Innenreflexe bei starker Vergrösserung und in Öl zeigen gelblich-weisse, bräunliche oder tiefrote Farben. Die Spaltbarkeit ist selbst bei starker Vergrösserung und greller Lichtquelle im Anschliff nur andeutungsweise zu beobachten.

Die beste Strukturätzung wurde mit schwefelsaurer Kaliumpermanganatlösung erzielt (s. Taf. IV, Abb. 11). Die Zinkblendekörner weisen meist gerundete Umrisse auf; sie sind manchmal miteinander gesetzmässig verwachsen, wobei die einzelnen Individuen auch polysynthetische Verzwillingung zeigen (s. Taf. IV, Abb. 11). Die Breite der Zwillingslamellen ist verschieden; sie kann von der Grenze der Sichtbarkeit bei starker Vergrösserung bis 0,4 mm variieren. Kataklastische Erscheinungen fehlen völlig. Es konnten weder eine Kornregelung, noch Verbiegungen und Zerdrückungen festgestellt werden.

Fast ausnahmslos enthält die Zinkblende der Erzlagerstätte von Işikdağ kleine Tröpfchen von Kupferkies. Die Form und Grösse derselben werden bei Kupferkies beschrieben. Im Dünnschliff kann man feststellen, dass sie umso reichlicher vorhanden sind, je dunkler, das heisst je eisenhaltiger die Zinkblende ist. Die Kupferkieskörperchen sind manchmal entlang den Zwillingslamellen- sowie den Korngrenzen reihenförmig angereiht (s. Taf. IV, Abb. 11). Öfters sind sie jedoch ganz unregelmässig über das ganze Korn verteilt. Nicht selten sind sie auch am Rande der Zinkblende-Körner besonders auffallend angehäuft.

Solche Kupferkieskörperchen in Zinkblende werden im allgemeinen als Entmischungsprodukte einer Zinkblende, die sich bei hoher Temperatur bildete, angesehen. Es stellte dies bereits Van Der Veen (Lit. 60, S. 16) fest und auch Schneiderhöhn (Lit. 53, S. 521) gibt an, dass „sie nur in den magmatischen, pneumatolytischen, kontaktpneumatolytischen und aszendenthydrothermalen Lagerstätten vorkommen, das heisst in allen Lagerstättentypen, deren Erze bei höheren Temperaturen entstanden sind und wo infolgedessen Entmischungsvorgänge eintreten können, die auf einer Löslichkeitsveränderung bei sinkender Temperatur beruhen".

Die Zinkblende von Işikdağ enthält ausser Kupferkieströpfchen auch reliktische Körner von Arsenkies und Nester von filzigem Turmalin. Ihrerseits wird die Zinkblende oft durch Yenerit, Bleiglanz II, Kalkspat und namentlich durch Quarz verdrängt (s. Taf. III, Abb. 10). Die Verdrängung geht manchmal längs den Spaltrissen und den Zonengrenzen vor sich.

Die Ausscheidung der Zinkblende scheint ungefähr gleichzeitig mit Pyrit und Bleiglanz I erfolgt zu sein. Die drei Mineralien enthalten oft Haarklüfte, welche sich von einem Mineral ins andere fortsetzen und immer mit Kalkspat ausgefüllt sind.

## Kupferkies

Der Kupferkies ist nur mikroskopisch und zwar nur bei starker Vergrösserung gut sichtbar, als Einschluss in anderen Erzmineralien. So wurde er bereits erwähnt (s. S. 61) als Entmischungskörperchen (s. Taf. IV, Abb. 11). Murdoch (Lit. 37, S. 36) nennt diese Entmischungskörperchen zutreffend eine „Emulsion". Die Größe der Tröpfchen variiert von der Grenze der Sichtbarkeit bei stärkster Vergrösserung bis 0,003 mm. Selten sind auch Stäbchen zu beobachten; sie scheinen aber durch das enge, reihenförmige Zusammentreten mehrerer Tröpfchen gebildet zu sein. Die Länge der Stäbchen kann 0,01 mm erreichen.

In einem Anschliff wurde Kupferkies auch als Einschluss in Bleiglanz beobachtet.

## Arsenkies

In der Erzlagerstätte von Işikdağ ist Arsenkies das verbreiteteste und häufigste Erzmineral. Selten tritt der Fall ein, dass er in einer der untersuchten Proben fehlt. Oft bildet er sogar, wenn Quarz als Gangart auftritt, das einzige Erzmineral. Er kann sowohl derb, als auch in kleinen (bis 2 mm langen), meist stengeligen Kriställchen vorliegen. Auch im Nebengestein der Lagerstätte finden sich Partien, in denen zahlreiche Kriställchen von zinnweissem bis lichtstahlgrauem, oft etwas gelblich angelaufenem Arsenkies auftreten. Sie können eine Länge von 5 mm erreichen und sind meist als dünne, nach der b-Achse (neue Aufstellung) gestreckte Stengelchen entwickelt. An seitlichen Flächen ist die grobe Streifung parallel der c-Achse jedoch nicht feststellbar. Häufig sind Penetrationszwillinge (Lit. 38, S. 139), selten Drillinge zu beobachten (s. Taf. IV, Abb. 13).

Nach Schneiderhöhn-Ramdohr (Lit. 55, S. 203) ist Arsenkies unter den Mineralien der Pyrit-Markasitreihe im allgemeinen am schwersten zu polieren. An einwandfrei als Arsenkies nachgewiesenen Proben der Erzlagerstätte von Işikdağ konnte jedoch beim Polieren mit Chromoxyd eine bedeutend bessere Politur als bei Pyrit erhalten werden. Dagegen zeigt der Arsenkies, wo die Vererzung imprägnationsartig stattfand, oft Löcher.

### *Erzmikroskopisches Verhalten*

Unter dem Mikroskop zeigt der Arsenkies ein starkes Reflexionsvermögen. Die Farbe ist weiss neben Pyrit, gelblich neben Bleiglanz und Yenerit. Die Anisotropieeffekte sind stark, ohne deutliche Aus-

löschung. In Diagonalstellung ist die Farbe bläulichgrün und rosabraun. Sie wechselt mit der Schnittlage. In Öl, bei starker Vergrösserung, bleiben diese Farben bestehen, aber in viel dunkleren Nuancen. Ein schwacher Pleochroismus ist nur in Öl wahrnehmbar.

Strukturätzung wurde am besten mit alkalischer Kaliumpermanganatlösung erzielt. Durch die Strukturätzung wird stets ein feinschaliger Zonenbau sichtbar (s. Taf. IV, Abb. 14). Seltener konnte der Zonenbau an grösseren Arsenkristallen ohne Ätzung, bereits durch Zuziehen der Aperturblende, andeutungsweise zum Vorschein gebracht werden. Es ist anzunehmen, dass diese Zonarstruktur auf Mischkristallbildung beruht (Lit. 55, S. 201).

Die isolierten Arsenkieskristalle sind stets idiomorph ausgebildet (s. Taf. II, Abb. 5). In Kristallaggregaten sind sie dagegen hypidiomorph bis allotriomorph entwickelt. Durch radialstrahlige Gruppierung der Arsenkieskriställchen in Drusen entstehen Formen, welche man als Arsenkies-„Sonnen" bezeichnen könnte (s. Taf. IV, Abb. 12).

Spaltbarkeit nach 110 (alte Aufstellung) wurde manchmal beobachtet; es sind aber auch nach 001 Risse vorhanden, die jedoch meist unregelmässig verlaufen. Nach Schneiderhöhn-Ramdohr (Lit. 55, S. 199) kommt die Spaltbarkeit 001 namentlich bei kobaltreichen Varietäten des Arsenkieses vor; in unserem Arsenkies konnte aber Kobalt nicht nachgewiesen werden. Bei starkem Zuziehen der Aperturblende wurde bei einigen Arsenkieskristallen eine Skelettstruktur beobachtet, welche an die Sanduhrstrukturform erinnert.

Der Arsenkies enthält ausser Nestern von filzigem Turmalin keine Einschlüsse. Seinerseits dagegen kommt der Arsenkies in fast allen Mineralien der Erzlagerstätte als Einschlüsse vor, wobei er oft Verdrängungserscheinungen zeigt (s. Taf. II, Abb. 6; Taf. VI, Abb. 19). Die besonders auffallende Verwachsung Arsenkies-Quarz wird beim Quarz näher beschrieben.

## Pyrit

Pyrit, der unter den Mineralien von Işikdağ die grössten Kristalle bildet (bis 2 cm), ist mengenmässig nur spärlich vorhanden. In den Partien der Lagerstätte mit Quarz als Gangart bildet er Drusen und in denjenigen mit Kalkspat als Gangart kommt er in dünnen Lagen vor. Wie der Arsenkies kann auch Pyrit in manchen Stellen des Nebengesteins als alleiniges Erzmineral in Form von winzigen, gerundeten Körnchen angetroffen werden (Lit. 27).

Erst durch langes und sorgfältiges Vorschleifen konnte beim Polieren des Pyrits eine einigermassen zufriedenstellende Politur erzielt werden, welche bei weitem nicht die Güte der Politur des Arsenkieses erreichte. Zudem waren die Anschliffe, wenn neben Pyrit auch Yenerit und Bleiglanz vorhanden waren, stets mit einem hohen Relief behaftet, das bei der mikroskopischen Untersuchung oft störend wirkte.

*Erzmikroskopisches Verhalten*

Unter dem Erzmikroskop ist der Pyrit gelb; die Stärke des Reflexionsvermögens hängt jedoch sehr von der Güte der Politur ab.

Der Pyrit von Işikdağ zeigt manchmal schwache Anisotropieeffekte, welche rosabraun-gelblichgrün erscheinen. Es konnte dies vor allem beim Pyrit festgestellt werden, der mit Arsenkies zusammen vorkommt. Nach Van Der Veen (Lit. 60, S. 34) sollen die Anisotropieeffekte bei Pyrit stets, und zwar so deutlich vorhanden sein, dass man die Korngrenzen und die Verzwillingung erkennen kann. Nach Schneiderhöhn-Ramdohr (Lit. 55, S. 159) sind jedoch nicht alle Pyrite merklich anisotrop, und Schneiderhöhn (Lit. 54) konnte nachweisen, dass anisotrope, oberschlesische Pyrite stets arsenhaltig waren. Die regelmässige Verknüpfung des Anisotropieeffekte zeigenden Pyrits von Işikdağ mit Arsenkies steht in guter Übereinstimmung mit dem Nachweis von Schneiderhöhn. Nach diesem Autor „verursacht das in das Pyritgitter aufgenommene Arsen bei normaler Temperatur innere Spannungen, die sich in anormaler Doppelbrechung, in optischer Anisotropie äussern".

Strukturätzung wurde mit schwefelsaurem Kaliumpermanganat erzielt. In den Anschliffen, welche als Gangart Kalkspat enthielten, ging die Ätzung schneller vor sich als in solchen mit Quarz als Gangart. Die Grösse der Körner ist sehr unterschiedlich und wechselt von 0,1 bis über 4 mm. Die Körner sind oft von Rissen begrenzt, auf denen meist Kalkspat, selten Quarz eingedrungen ist. Einen ähnlichen Verlauf der Risse schildern Orcel und Plaza (Lit. 43, S. 227) an einem Pyrit von Morococha (Perù). Die Körner sind bald idiomorph ausgebildet, bald unregelmässig begrenzt. Zonarstruktur ist verbreitet; sie besteht meist aus 2, selten aus 3 Schalen und ist wahrscheinlich durch Unterbrechung im Wachstum zustandegekommen. Gelstruktur, Verzwillingung, Deformation und Ätzspaltbarkeit wurden nicht beobachtet.

Der Pyrit von Işikdağ enthält oft als Einschlüsse Arsenkieskristalle, welche er manchmal verdrängt (s. Taf. VI, Abb. 19). Diese,

in Quarz oft in 2 oder 3 Stücke zerbrochenen Arsenkieskristalle wurden in Pyrit nie zerbrochen beobachtet. Es frägt sich, ob dies darauf zurückzuführen ist, dass solche Teilstücke bereits der völligen Verdrängung durch Pyrit erlegen sind oder ob die Einbettung in Pyrit das Zerbrechen aus rein mechanischen Gründen nicht ermöglichte.

Seinerseits wird Pyrit durch Yenerit, Bleiglanz II und Kalkspat verdrängt.

### Gold und Silber

Die Gold- und Silberbestimmungen (s. S. 106) zeigen, dass die Erze von Işikdağ wirtschaftlich nicht unwichtige Mengen Gold und Silber enthalten. Trotz der grossen Anzahl gründlich untersuchter Anschliffe konnten jedoch diese Elemente mikroskopisch weder in freiem Zustand noch als Verbindung beobachtet werden.

Zwecks Lokalisierung des Edelmetallgehaltes wurden von T. Hiller (Lit. 72) durch Flotation ein Blei-Antimon-Konzentrat und auf dem Schüttelherd ein Arsenkies-, sowie ein Pyritkonzentrat hergestellt. Die Gold- und Silberbestimmungen, welche an diesen Konzentraten durchgeführt wurden, haben eindeutig gezeigt, dass die Hauptmengen des Goldes im Arsenkies und diejenige des Silbers in den Blei-Antimon-Mineralien lokalisiert sind.

Es muss danach angenommen werden, dass sich das Gold und das Silber im Arsenkies bzw. im Yenerit in getarntem Zustand vorfinden.

## DIE GANGARTMINERALIEN

### Quarz

In den Partien der Erzlagerstätte von Işikdağ, in denen Quarz als überwiegende Gangart auftritt, ist die Vererzung imprägnationsartig. Der Quarz bildet dann oft Kriställchen mit einer durchschnittlichen Grösse von 2—3 mm. Seine Farbe entspricht der von Ramdohr (Lit. 48, S. 331) als trübglasig bezeichneten, welche zwischen einer wasserklar und milchigweissen Farbtönung liegt und von Ramdohr an dem Falkmanit (vgl. Yenerit) führenden Quarz von Waldsassen in Bayern beobachtet wurde.

Das spezifische Gewicht unseres Quarzes beträgt $2{,}69 \pm 0{,}01$ (an Kriställchen pyknometrisch bestimmt). Diese leichte Zunahme des spezifischen Gewichtes (spezifisches Gewicht des normalen Quarzes: 2,65) beruht wahrscheinlich auf Verunreinigung; die stets vorhandene, auf den ehemaligen Gelzustand der $SiO_2$-Substanz zurück-

zuführende subradiale Struktur (s. mikroskopische Beschreibung) sollte eher eine Erniedrigung des spezifischen Gewichtes hervorrufen (spezifisches Gewicht des Chalzedons: 2,59—2,61).

Sehr oft bilden die Quarzkriställchen miteinander unregelmässige Verwachsungen. Manchmal ist aber auch eine gewisse Regelmässigkeit festzustellen, welche auf das Vorliegen von Zwillingen hindeutet. Ob tatsächlich gesetzmässige Verwachsungen vorliegen, könnte nur auf Grund von genauen Messungen entschieden werden, die sich jedoch am vorliegenden Material nicht durchführen liessen. Die Flächen dieser Kriställchen sind zu rauh und liefern daher keine guten Reflexe; ebensowenig gelingt es mittels der U-Tisch-Methode, die optische Orientierung in den einzelnen Individuen einzumessen, weil die Auslöschung keine einheitliche ist.

*Mikroskopische Beschreibung*

Die Quarzkörner sind selten idiomorph, sehr oft an den Kanten gerundet, manchmal miteinander verzahnt. Sie zeigen in der Regel eine radiale bis subradiale, manchmal auch eine mehr subparallele Struktur (s. Taf. V, Abb. 16; Taf. VI, Abb. 18). Hie und da ist eine sphärolithische Ausbildung wahrzunehmen, doch tritt das bei Sphärolithen mit gekreuzten Nicols gewöhnlich zu beobachtende schwarze Kreuz nicht in Erscheinung. Der Charakter der Hauptzone einzelner Fasern ist stets positiv. Im Konoskop zeigen breitere Fasern immer das Bild eines einachsig positiven Minerals. Nach diesen optischen Daten ist das Mineral zum Quarz und nicht zum Chalzedon (Charakter der Hauptzone negativ, oft zweiachsig) zu stellen, obwohl die charakteristische Struktur chalzedonartig ist.

Als Einschlüsse kommen im Quarz ausser den Erzmineralien auch filziger bis feinnadeliger Turmalin, Zinnstein, Apatit und Epidot-Orthit vor. Besonders häufig ist er mit Arsenkies vergesellschaftet, wobei sich Quarz und Arsenkies gegenseitig aderförmig durchdringen. Auch sind die Arsenkies-„Sonnen“ stets in Quarz eingebettet (s. Taf. IV, Abb. 12). Häufig markieren kleinere Arsenkieskristalle die Grenzen der Quarzkörner.

Nach der gegenseitigen Durchdringung von Arsenkies und Quarz könnte man vermuten, dass die Ausscheidung der beiden Mineralien gleichzeitig erfolgte. Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Wie bei der Beschreibung des Arsenkieses gezeigt wurde, gehört er einer sehr frühen Phase der Mineralausscheidung an, während der Quarz, aus seiner Struktur zu schliessen, erst viel später bei niedrigen Temperaturen zur Bildung gelangte. Wir möchten daher die weitgehende Verwachsung zwischen Arsenkies und Quarz so erklären, dass

der Quarz ein Mineral verdrängte, das syngenetisch mit dem Arsenkies entstanden war. Eine Stütze für diese Annahme kann die folgende Erscheinung bilden.

Bei manchen Quarzkörnern beobachtet man im Dünnschliff eine Art Bestäubung in der Form von regelmässigen Sechsecken (s. Taf. V, Abb. 15; Taf. VI, Abb. 17). Über die Natur dieser Bestäubung kann nichts sicheres ausgesagt werden. Erwähnt sei, dass diese Erscheinung vor allem in Schliffen zu beobachten ist, in welchen der Quarz massenhaft den nadligen Turmalin beherbergt.

Die sechseckförmige Bestäubung kann sich manchmal in zonarer Anordnung innerhalb ein und desselben Kornes bis viermal wiederholen (s. Taf. VI, Abb. 17). Beim Einschalten des Analysators kann festgestellt werden, dass diese Sechsecke zum Umriss des betreffenden Kornes gewöhnlich nicht parallel verlaufen und dass diese Körner meist nicht senkrecht oder ungefähr senkrecht zur c-Achse geschnitten sind (s. Taf. V, Abb. 15 u. 16; Taf. VI, Abb. 17 u. 18).

Diese Erscheinung kann durch eine pseudomorphe Verdrängung erklärt werden. Man muss annehmen, dass das verdrängte Mineral in einer Kristallform vorgelegen hat, deren Schnitte vorherrschend sechseckige Umrisse darstellen können. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass in der Frühphase mit dem Arsenkies Quarz entstanden ist. Dieser Quarz wurde dann aufgelöst, und es sind nur noch eine Art Skelette zurückgeblieben. Solche Skelette wurden später durch kältere Lösungen ausgefüllt.

*Erzmikroskopisches Verhalten.*

Der Quarz ist im Anschliff trotz seiner Härte ausgezeichnet poliert. Er bildet oft eine Art Grundmasse, in welcher Erzmineralien schwimmen.

Von der subradialen und subparallelen Struktur des Quarzes sowie von den charakteristischen Sechsecken kann man unter dem Erzmikroskop keine Spur wahrnehmen. Es zeigt dies deutlich, dass bei dem Studium der Gangartmineralien unbedingt auch die Dünnschliffuntersuchung notwendig ist, eine Forderung, die aber meist vernachlässigt wird.

## Turmalin

Proben aus der Erzlagerstätte von Işikdağ führen häufig ein filzig bis erdig aussehendes Mineral (s. Taf. VII, Abb. 21). Erzstücke enthalten es meist in Nestern; im Nebengestein, das von kalkigen zu sandigen Tonen variiert, bildet es gewöhnlich feine, geradlinig verlaufende Spaltenfüllungen und Adern. Das mit dem Fingernagel leicht abschabbare Mineral ist im allgemeinen schmutzig weiss ge-

färbt, kann aber auch gelbliche und bräunliche Töne annehmen. Dem Aussehen nach könnte man es für ein Verwitterungsprodukt eines der Erzmineralien halten. Die mikroskopische Untersuchung liess jedoch vermuten, dass Turmalin vorliegt. Röntgenographische Aufnahmen bestätigten den Befund, und die chemische Analyse zeigte, dass es sich um einen magnesiumreichen Turmalin handelt.

*Mikroskopische Untersuchung*

Unter dem Polarisationsmikroskop erscheint der Turmalin im Dünnschliff in Form von unregelmässig begrenzten, verfilzten Aggregaten, welche zum grössten Teil aus kleinen Schüppchen und weniger häufig aus innig verwachsenen feinen Fäserchen gebildet werden (s. Taf. VI, Abb. 20). Ziegler (Lit. 63, S. 10) hielt die Schuppen für Sericit, der durch Umwandlung der sandigtonigen Kalke entstanden sei, was auf hochthermale Wirkung hinweise. Die feinen Fäserchen stechen oft aus den schuppigen Aggregaten hervor. Sie zeigen gerade Auslöschung und negative Hauptzone. Die grösseren lassen einen äusserst schwachen Pleochroismus erkennen, wobei

$n_\alpha$ = farblos
$n_\gamma$ = bläulichgrün

ist. Aggregate, die aus einer Anhäufung solcher feiner Nädelchen bestehen, zeigen radialstrahlige Struktur, und bei gekreuzten Nicols kommt ein (meist unvollständiges) Kreuz zum Vorschein.

Neben Stellen, die nur von Turmalin gebildet werden, findet man diesen häufig auch in weitgehender Verwachsung mit Quarz. Dieser erscheint dann durch Turmalin bestäubt. Die Turmalinnädelchen sind meist gerade, selten gebogen (s. Taf. VII, Abb. 22) oder gebrochen, wobei die dickeren sich als leichter zerbrechlich erweisen. Gelegentlich häufen sie sich zu winzigen büschelartigen Gebilden. Sie sind so fein, dass ihre Struktur erst bei starker Vergrösserung sichtbar ist; bei schwacher Vergrösserung erscheint der Quarz lediglich pigmentiert. Die maximale Dicke der Nadeln beträgt 0,01 mm, ausnahmsweise wurden Längen bis 4 mm gemessen.

Nur an zwei Stellen der über 30 untersuchten, grossen Dünnschliffe konnte in der Mitte der verfilzten Aggregate je ein Turmalinkorn festgestellt und optisch bestimmt werden.

Korn I: Kurzsäulig; 0,1 mm lang; Zonarstruktur; der Kern zeigt starken Pleochroismus

$n_{\alpha'}$ = grünlich
$n_\gamma$ = schwarzgrün

und die für Turmalin typischen, regellosen Sprünge und Risse. Der umhüllende Teil ist hingegen farblos und lässt in der Längsrichtung eine Segmentierung wahrnehmen, welche vielleicht orientiert eingelagerten Einschlüssen zuzuschreiben ist, was bei den ausserordentlich kleinen Dimensionen nicht entschieden werden kann.

Korn II: Langsäulig; 0,25 mm lang; Zonarstruktur; der Kern weist starken Pleochroismus auf

$n_{\alpha'}$ = blassgelbgrün
$n_{\gamma}$ = gelblichbraun;

er zeigt eine Abschnürung in 2 Segmente, hervorgerufen durch das Eindringen der farblosen Randpartien, wodurch der Eindruck einer Verdrängung erweckt wird. Die optischen Eigenschaften der Kern- und Hüllpartien stimmen jedoch miteinander überein.

Als charakteristisch für die Dünnschliffbilder des verfilzten Turmalins ist schliesslich noch teilweise massenhaft auftretende Bestäubung in Form von winzigen, fast undurchsichtigen Körnchen zu erwähnen, bei denen es sich sehr wahrscheinlich um Zinnstein handelt (s. auch die chemische Untersuchung).

Die Bestimmung der Brechungsindizes wurde an Körnerpräparaten nach der Immersionsmethode mit Hilfe eines Monochromators durchgeführt, wobei für die Bestimmung von $n_{\alpha}$ Chinolin ($n = 1{,}624$), für die von $n_{\gamma}$ ein Gemisch von Monochlor- und Monobromnaphthalin ($n_D = 1{,}640$) zur Verwendung gelangte. Infolge der Winzigkeit der zu untersuchenden Fäserchen, die zudem oft nicht einheitlich auslöschten, gelang es leider nicht, genügend genaue Dispersionskurven zu gewinnen. Immerhin konnte festgestellt werden, dass auch der vorliegende Turmalin eine starke Dispersion hat, die in relativ breitem Wellenlängenbereich der Dispersion der obgenannten Flüssigkeiten parallel läuft. Die Brechungsindizes für die D-Linie konnten wie folgt bestimmt werden:

$$n_{\alpha} = 1{,}620 \pm 0{,}003 \qquad n_{\gamma} = 1{,}642 \pm 0{,}003.$$

Danach würde die maximale Doppelbrechung für Natriumlicht ca. 0,022 betragen. Eine Kontrolle durch Messung der Dicke und des Gangunterschiedes war infolge der Feinheit der Fäserchen nicht möglich.

Winchell (Lit. 61, S. 302) gibt für Magnesiumturmaline (= Dravite) folgende Grenzwerte der optischen Daten

$$n_{\alpha} = 1{,}61 - 1{,}63 \qquad n_{\gamma} - n_{\alpha} = 0{,}020 - 0{,}025$$
$$n_{\gamma} = 1{,}63 - 1{,}655$$

Unter dem Erzmikroskop zeigt der filzige Turmalin ein viel geringeres Reflexionsvermögen als der Quarz. Bei gekreuzten

Nicols dagegen treten massenhaft gelblich-milchigweisse Innenreflexe auf, wodurch er bedeutend heller als der Quarz erscheint. Ölimmersion erhöht das Reflexionsvermögen erheblich, und die Innenreflexe erhalten einen grünlichgelben Ton. Die Struktur wird erst sichtbar bei starker Vergrösserung in Ölimmersion und zwar am besten an Stellen, wo die Anschliffsoberfläche Unregelmässigkeiten aufweist.

Berichte über ähnliche Ausbildung von Turmalin wie die vorliegende konnten in der Literatur nur zwei gefunden werden. C. Messina (Lit. 34) beschreibt einen „Tormalina azzurra" aus dem Bavenogranit, welcher entweder als äusserst feinnadlige, büschelbildende Einschlüsse in Quarz und Fluorit oder als eine Art Filz auf Quarz und Feldspat auftritt. Dieser Turmalin zeigt aber nach Messina einen sehr starken Pleochroismus, und aus den optischen Daten zu schliessen nähert sich seine Zusammensetzung der eines grünen Schörls.

Nach P. Gabór (Lit. 19, S. 679) enthalten die epithermalen Erzgänge von Csucsom (Ungarn) ausser Quarz als wichtigstes Gangartmineral Turmalin, welcher auch in Nadeln vorkommt.

### *Röntgenographische Untersuchung*

Zwecks einwandfreier Identifizierung des „turmalinverdächtigen", filzigen Materials wurde von einer gereinigten Probe eine Pulveraufnahme hergestellt (s. Fig. 5, oben). Zur Reinigung war die gepulverte Probe nacheinander mit Salzsäure und Salpetersäure (konz.) behandelt worden, wodurch karbonatische Gangart und Erzmineralien in Lösung gingen. Hierauf erfolgte die Trennung von Quarz mit Hilfe von Bromoform als schwerer Flüssigkeit im Scheidetrichter.

Als Material für die Vergleichsaufnahme (s. Fig. 5, unten) diente ein pulverisiertes Kristallstück eines hellgrünen Turmalins vom Campolungo (Tessin). Die wiedergegebenen Spektren zeigen vollkommene Analogie.

### *Chemische Untersuchung*

Die Gewinnung des reinen Materials für die Analyse ging ähnlich wie die eben beschriebene vor sich. Da in dem hierzu verwendeten Handstück Turmalin und Quarz innig verwachsen waren, musste es sehr fein gepulvert (0,06 mm) und die Phasentrennung mit Hilfe der Zentrifuge vorgenommen werden. Als schwere Flüssigkeiten dienten Bromoform (D = 2,85), Acetylentetrabromid (D = 2,96) und Klein'sche Lösung verschiedener Konzentrationen.

Analysiert wurde die Fraktion zwischen den Dichten 2,96 und 3,08. Sie war frei von Quarz und relativ arm an den auf S. 69 erwähnten, winzigen, fast opaken Einschlüssen. Im spezifischen Gewicht war sie keineswegs einheitlich und liess sich beispielsweise durch Zentrifugieren in einer Lösung der Dichte 3,03 in zwei etwa gleich grosse Anteile zerlegen. Die Dichteschwankungen können teilweise chemischen Unterschieden und dem Einfluss der spezifisch schweren Einschlüsse zugeschrieben werden. Die Hauptursache ist in der fein verfilzten und deshalb porösen Struktur zu suchen, in dem selbst beim Zentrifugieren nicht alle Poren durch die Flüssigkeit gefüllt wurden, sei es infolge Viskosität der Flüssigkeit oder Unzugänglichkeit der Poren.

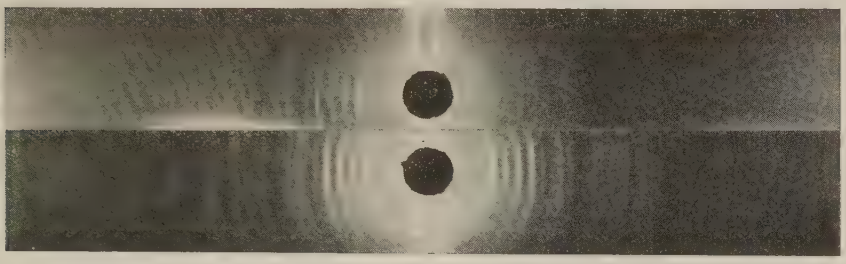


Fig. 5. Pulveraufnahmen von filzigem Turmalin von Işikdağ (oben) und hellgrünem Turmalin vom Campolungo (unten). (Cu, $K_\alpha$-Strahlung; Belichtungszeit: 3 Stunden).

Das durchschnittliche spezifische Gewicht dürfte sehr nahe bei

3,135

liegen, welcher Wert pyknometrisch an der zur Röntgenuntersuchung dienenden Probe bestimmt wurde, welche aus etwas gröber kristallisiertem und ziemlich einschlussfreiem Material bestand.

Was die angewandten Analysenmethoden betrifft, so sei lediglich auf zwei neuere, noch nicht allgemein bekannte Bestimmungsmöglichkeiten hingewiesen:

Die Borsäure wurde nach der sehr empfehlenswerten Methode von H. Schaefer und A. Sieverts (Lit. 82, S. 181) bestimmt, die ohne die langwierige Destillation des Borsäuremethylesters zum Ziel führt. Wie aus den von den Autoren veröffentlichten Analysen hervorgeht, welche durch eigene Versuche bestätigt wurden, gibt die Methode auch unter den Bedingungen der Silikatanalyse sehr gute Resultate.

Die Fluorbestimmung geschah auf kolorimetrischem Weg, einmal nach der Methode von Steiger (Schwächung der Titanperoxydfärbung durch Fluor) in der von O. Hackl (Lit. 68) beschriebenen Modifikation, das andere Mal durch die Schwächung der Eisenrhodanidfärbung, welche Methode ebenfalls von O. Hackl (Lit. 69) vorgeschlagen wurde.

Die Resultate der Analyse finden sich in Kolonne I der Tabelle 4. Es ist dazu noch folgendes zu ergänzen.

Alle angeführten Werte wurden am gleichen, sorgfältig gemischten Material gewonnen. Vorgängig dem Mischen war eine Probe nach dem Verfahren von Jannasch (Lit. 14, S. 50) mit Boroxyd aufgeschlossen und analysiert worden. Diese Analyse ergab im ganzen nahe Übereinstimmung mit der in der Tabelle 4 stehenden, wies aber einen Wert für CaO von 2,69 % und einen entsprechend kleineren Wert für $Na_2O$ von 0,91 % auf. Dies beweist einerseits die Inkonstanz der chemischen Zusammensetzung des untersuchten Turmalins, zeigt aber gleichzeitig, dass sich die Schwankungen im wesentlichen auf die wechselseitige Vertretung von CaO und $Na_2O$ zu beschränken scheinen.

Aus der schwach schwefelsauren Lösung des Ammoniakniederschlages der Hauptanalyse liess sich mit Schwefelwasserstoff etwas Zinnsulfid ausfällen, das als $SnO_2$ gewogen wurde. Es ist danach sehr wahrscheinlich, dass die fast opaken Einschlüsse im vorliegenden Turmalin aus Zinnstein bestehen. Phosphorsäure konnte nicht nachgewiesen werden, so dass ein Vorhandensein von Xenotim, eventuell Monazit, ausgeschlossen erscheint, der festgestellte Gehalt an seltenen Erden also zum Turmalin zu rechnen ist.

Bei der Betrachtung der Analysenresultate fällt der Eisengehalt von etwa 2% auf, der angesichts der Farblosigkeit des Turmalins relativ hoch erscheint. Das Fehlen von Fluor steht im Einklang mit der Annahme von J. Jakob (Lit. 25), dass fluorhaltige Turmaline nur in an sich fluorführenden Lagerstätten gebildet werden.

Die zahlenmässige Auswertung der Analysenresultate führt zum Ergebnis, dass der filzige Turmalin von Işikdağ der heute üblichen Turmalinformel bemerkenswert gut entspricht. Diese geht auf F. Machatschki (Lit. 32 und 33) zurück und wurde durch M. J. Buerger (Lit. 8) in bezug auf die Zahlenverhältnisse bestätigt, wenn auch die Schreibweise abgeändert wurde. Die beiden Formeln lauten:

| | | |
|---|---|---|
| Machatschki | $(Si_6O_{27}B_3)Y_8XY(OH,F)$ | X = Ca,Na,K<br>Y = Ti,Al,Fe,Mg,Mn |
| Buerger | $(Na,Ca)R_3(Al,Fe)_6B_3Si_6O_{27}(O,OH,F)_4$ | |

Sie sind in der hexagonal aufgefassten Elementarzelle dreimal vertreten, sodass eine Gesamtzahl von 93 Sauerstoffatomen pro Zelle resultiert (nach BUERGER ist das Turmalingitter tatsächlich rhomboedrisch).

Tabelle 4

Analyse des farblosen, filzigen Turmalins von Işikdağ

| | I | | II | III | IV | V | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 35,75 | Si | 596 | 899 | 26,45 | 18,05 | 27,00 |
| $B_2O_3$ | 10,95 | B | 304 | | | 8,95 | |
| $Ti_2O_3$ | 0,22 | Ti | 7 | 937 | 27,55 | 0,20 | 27,00 |
| $Al_2O_3$ | 34,77 | Al | 687 | | | 19,66 | |
| S.E. | 0,27 | | | | | | |
| FeO | 2,15 | Fe | 30 | | | 0,88 | |
| MgO | 8,46 | Mg | 210 | | | 6,17 | |
| MnO | 0,20 | Mn | 3 | | | 0,09 | |
| CaO | 1,71 | Ca | 31 | 95 | 2,78 | 0,90 | 2,78 |
| $Na_2O$ | 1,74 | Na | 56 | | | 1,65 | |
| $K_2O$ | 0,37 | K | 8 | | | 0,23 | |
| $H_2O+$ | 3,75 | OH | 417 | | 12,28 | 12,28 | |
| Summe | 99,98 | | | | | | |

Kolonne I Analysenwerte des Turmalins in Gewichts%, gewonnen aus der ursprünglichen Analyse durch Elimination von 0,24% $SnO_2$ und 0,19% $H_2O^-$.

II Atomzahlen zu I (Al und seltene Erden zusammengefasst).

III Summen der Atomzahlen zusammengehöriger (sich vertretender) Ionen.

IV Atome pro Elementarzelle unter der Voraussetzung, dass $(Si + B) + (Ti + Al + Fe + Mg + Mn) = 54$.

V Atome pro Elementarzelle nach Berücksichtigung der Vertretung von Si durch Al.

Anmerkungen zur Kolonne I: Der Wert für $SiO_2$ stammt aus zwei (auf 0,01% übereinstimmenden) Bestimmungen, die an den zum Fluornachweis dienenden Analysenproben gemacht wurden. Die Zahlen für die übrigen Kationen (ausser Bor) sind aus einer mit Schwefelsäure-Flusssäure aufgeschlossenen, vorher geglühten Probe gewonnen, wobei die Werte für die Alkalien durch eine Kontrollbestimmung mittelst Aufschluss nach L. SMITH (Lit. 13, S. 35) bestätigt wurden. Als Wert für das Konstitutionswasser wurde der Glühverlust (vermindert um das $H_2O^-$) eingesetzt. Das gesamte Eisen wurde als zweiwertig angenommen.

Neuerdings hat E. GÜBELIN (Lit. 21) für drei von J. JAKOB analysierte Tessiner Turmaline eine etwas abweichende Formel aufgestellt, welche auf 90 Sauerstoffatomen pro Elementarzelle basiert. Sie lautet:

$$(Ca,K,Na)_x(Si,B)_9(Al,Fe,Ti,Mg,Mn)_9O_3H_y$$

wobei x und y in ziemlich weiten Grenzen variieren können. Diese Formel stimmt mit der erstangeführten insofern überein, als sie die Zahl der „aktiven Kationen"

$$(Si+B) + (Al+Fe+Ti+Mg+Mn)$$

ebenfalls mit 54 pro hexagonaler Elementarzelle angibt.

Berechnet man die Analyse des filzigen Turmalins auf dieser Basis von 54 „aktiven Kationen", so resultieren die in Kolonne IV der Tabelle 4 aufgeführten Zahlen, welche den Formeln nach Machatschki bzw. Buerger ziemlich nahe kommen. Die Zahl der Sauerstoffatome beträgt 94,15, das Verhältnis der Sauerstoffatome zur Zahl der „aktiven Kationen" 1,74/1 gegenüber 1,72/1 bei Machatschki und Buerger; 1,66/1 bei Gübelin.

Wenn man annimmt, dass die Differenz der Atomzahlen für (Si+B) und (Ti+Al+Fe+Mg+Mn) auf einer Vertretung von Si durch Al beruht und die Summen ausgleicht, indem man die nötige Zahl von Aluminiumatomen zum Silizium schlägt, so erhält man als neue Atomzahlen die Werte in Kolonne V der Tabelle 4. Aus ihnen ergibt sich zwingend als spezielle Formel des Turmalins von Işikdağ

$$(Na,K)_2Ca\ (Fe,Mn)Mg_6Al_{20}\ Si_{18}B_9O_{81}OH_{12}\,.$$

Dass für (Na+K) : Ca ein rationales Verhältnis herauskommt, ist als Zufall zu bewerten. Wesentlich und für die Berechtigung der Verrechnung sprechend ist aber die Tatsache, dass das Verhältnis Si : B fast genau 2 : 1 wird. Eine wechselseitige Vertretung von Si und B, wie sie z. B. in der Formel von Gübelin angedeutet wird, dürfte nämlich angesichts des bedeutenden Unterschiedes der Ionenradien (0,39 bzw. 0,2 AE.) recht unwahrscheinlich sein. Gleichzeitig muss aber dem Bor in den Borsilikaten aus chemischen und strukturellen Überlegungen eine wichtige und spezifische Rolle zugeschrieben werden.

### *Genesis*

Im allgemeinen wird der Turmalin als charakteristisches Mineral der pneumatolytischen und pegmatitischen Phase betrachtet. In geringen Mengen ist der Turmalin recht verbreitet. So wird er in vielen, sicher hydrothermalen Erzlagerstätten als charakteristisches Gangartmineral gefunden (z. B. auf Sideritgängen in Oberungarn). Ferner kann er nach L. Déverin (Lit. 12) authigen in den Sedimenten vorkommen.

Die eingehenden spektrographischen Untersuchungen von V. M. Goldschmidt und Cl. Peters (Lit. 20) geben über die Herkunft des Bors sehr wertvolle Hinweise. Diese Autoren stellen fest, dass die tonigen Sedimente überraschend hohe Gehalte an Borsäure aufweisen, welche nicht den geringen Bormengen der Eruptivgesteine entstammen können, sondern überwiegend der Hydrosphäre, insbesondere dem Meerwasser. So sind z. B. die sedimentären Eisenerze wesentlich reicher an Bor als die magmatischen Eisenerze. Goldschmidt und Peters sind der Meinung, dass in vielen Fällen die beobachteten, lokalen Anreicherungen von Turmalin und anderen Bormineralien in Kontaktzonen nicht ohne weiteres eine Zufuhr des Bors vom Eruptivgestein her beweisen, sondern dass wohl öfters nur eine Mobilisierung, Umlagerung und örtliche Anreicherung des Bors aus ursprünglichen Sedimentsgesteinen stattgefunden hat.

In Işikdağ haben die erzbringenden Lösungen das Erz in oberkretazischen Sedimenten zum Teil infolge metasomatischer Vorgänge niedergeschlagen. Wie schon bei der Petrographie der Sedimente beschrieben wurde, variieren diese Sedimente stark von extrem kalkigen bis zu sandigen Tonen. Es liess sich nun deutlich feststellen, dass der Turmalin in kalkspatreichen Proben sehr selten ist, während die tonreichen Handstücke ihn in bedeutenden Mengen enthalten. Diese Tatsache steht in Übereinstimmung mit der Ansicht von Goldschmidt und Peters, indem anzunehmen ist, dass die Borsäure (oder zum mindesten der grösste Teil davon) zur Bildung des Turmalins auf der Erzlagerstätte von Işikdağ von den tonigen Meeressedimenten geliefert wurde.

## Kalkspat

Wo der Kalkspat monominerale Gangart bildet, liegt er oft in 3—5 mm grossen tafeligen Kristallen mit glatten und glänzenden Flächen vor. Er zeigt bald gute Spaltbarkeit, manchmal jedoch auch einen muscheligen Bruch; er ist milchigweiss bis grau, selten wasserklar. Eine bisweilen sich einstellende bräunliche Farbe ist, wie die qualitative Analyse ergab, nicht auf einen eventuellen Eisen- oder Mangangehalt zurückzuführen.

Häufig sind die Erzmineralien mit Kalkspat auf das innigste verwachsen, wobei dieser makroskopisch wenig deutlich in Erscheinung tritt. Im Gegensatz zum Quarz, welcher die Erzmineralien immer imprägnationsartig durchtränkt, kann der Kalkspat mit diesen auch ausgesprochene, dünne Lagentexturen bilden.

*Mikroskopische Beschreibung*

Die in der Regel unregelmässig begrenzten Körner des Kalkspats zeigen unter dem Mikroskop gewöhnlich eine einheitliche Auslöschung; subradiale Auslöschung, wie sie bei Quarz beschrieben wurde, ist nur selten zu beobachten.

Als Einschlüsse enthält der Kalkspat — im Gegensatz zum Quarz — nur Erzmineralien, namentlich von Yenerit (s. Taf. I, Abb. 2; Taf. II, Abb. 3), welche dort ausführlich beschrieben wurden. Seinerseits bildet der Kalkspat manchmal auch Einschlüsse in Yenerit, sodass die gleichzeitige Bildung des Kalkspats und Yenerits wahrscheinlich ist.

Die in den Erzmineralien vorhandenen Spaltrisse und durch Kataklase entstandenen Sprünge sind meist durch Kalkspat ausgefüllt. In zwei Schliffen wurde die Verwachsung von Kalkspat mit Aragonit beobachtet.

In den Anschliffen liess sich der Kalkspat ohne Schwierigkeit ausgezeichnet polieren. Er reflektiert mattgrau mit einem geringen Reflexionsvermögen. Durch den Reflexionspleochroismus sind oft die Korngrenzen erkennbar. Er zeigt hohe Anisotropieeffekte, welche aber wegen der zahlreichen, weissen Innenreflexe nur zum Teil zu sehen sind.

In den Anschliffen ist manchmal die Verdrängung von Arsenkies, Zinkblende und Pyrit durch Kalkspat festzustellen.

## Parankerit

Das Auftreten des Parankerits wurde bei Yenerit kurz erwähnt, da er mit diesem manchmal zu kleinen schwarzen Knäuelchen verwachsen ist, welche erst unter dem Mikroskop in die beiden Komponenten aufgelöst werden können.

Durch die chemische Untersuchung wurden ausser den Hauptionen Ca, Mg und $CO_3$ auch bedeutende Mengen von Eisen und Mangan nachgewiesen, wonach das Mineral dem Parankerit nahe stehen muss (Lit. 36, S. 3270). Dafür spricht auch das Löslichkeitsverhalten in Säuren (feinpulverisiert löst er sich in kalter verd. Salzsäure nur langsam, in warmer leichter; in konz. Essigsäure erst beim Erwärmen und nur schwer), sowie der um 1,73 liegende Brechungsexponent $n_\gamma$.

Der Parankerit scheint mit dem Yenerit gleichzeitig gebildet worden zu sein. Dafür spricht vor allem das mikroskopische Bild der Knäuelchen.

### Baryt

Bei einigen wenigen Proben konnten in Hohlräumen neben Quarz auch Barytkristalle beobachtet werden. Sie sind zum Teil wasserklar, zum Teil stellenweise trüb und zeigen dann eine leichte blassgelbe Färbung. Ihre Grösse beträgt 2—3 mm. Sie zeigen nur einfache Kombinationen der Flächen 001 und 110 und sind gewöhnlich tafelig, seltener stengelig ausgebildet.

Eigenartigerweise ist $n_\alpha$ dieses Baryts etwas niedriger, als es für normalen Baryt sein sollte ($n_\alpha$ des Baryts von Işikdağ = 1,633 statt 1,636). Es ist zu vermuten, dass eine in der Tat nachweisbare Beimengung von Eisenionen eine Änderung der Brechungsverhältnisse zur Folge hat (vgl. Lit. 61, S. 100).

### Zinnstein

In Quarz sind unter dem Mikroskop hin und wieder sehr stark lichtbrechende, halbdurchsichtige, isometrische Körnchen festzustellen, welche an Zinnstein, Xenotim, Monazit oder Låvenit erinnern. Sie erscheinen im Quarz hauptsächlich dort angesiedelt, wo zugleich Turmalin in grösserer Menge auftritt.

Wie bereits S. 69 beschrieben wurde, enthält der filzige Turmalin sehr oft winzige, fast undurchsichtige Einschlüsse, welche mit dem vorliegenden Mineral identisch sein können.

Da die Halbdurchsichtigkeit eine sichere optische Bestimmung verunmöglicht, wurden die Körnchen im Dünnschliff auf ihr Verhalten gegenüber Lösungsmitteln untersucht, wodurch festgestellt werden konnte, dass Monazit und Låvenit ausser Betracht fallen. Der Nachweis von Zinn in der Turmalinanalyse, der sehr wahrscheinlich auf die genannten Einschlüsse zurückzuführen ist, würde dafür sprechen, dass es sich bei dem fraglichen Mineral um Zinnstein handelt. Dafür würde auch die gelegentlich zu beobachtende, für Zinnstein im allgemeinen charakteristische „Insekteneierstruktur" und das auf Zwillingsbildung zurückzuführende Auftreten einspringender Winkel an einzelnen Kriställchen sprechen.

### Apatit

In Quarz finden sich Körnchen von Apatit als häufige, mengenmässig jedoch stets unbedeutende Einschlüsse vor. Sie zeigen oft sechseckige Umrisse und sind von ziemlich gleichbleibender Grösse (ca. 0,06 mm).

Die farblosen Kriställchen besitzen eine ziemlich hohe Lichtbrechung, was neben den charakteristischen Umrissen für ihre Apatit-

natur spricht, doch lässt ihre Kleinheit keine weitere Bestimmung optischer Daten zu. Sie enthalten ihrerseits als Einschlüsse oft Körnchen von Erz und andere staubfein verteilte Mineralien.

### Epidot-Zoisit

Äusserst selten kommen ebenfalls in Quarz winzige, allotriomorphe, farblose Körnchen vor, welche charakteristische übernormale Interferenzfarben zeigen. Sie dürften der Epidot-Zoisitgruppe angehören.

## LAGERSTÄTTENKUNDLICHE STELLUNG DES ERZVORKOMMENS VON IŞIKDAĞ UND SUCCESSIONSFOLGE DER MINERALIEN

Wenn wir die bis jetzt über die Genese jedes Minerals angestellten Beobachtungen vergleichen, so können wir mit Sicherheit aussagen, dass es sich — trotz der im allgemeinen weitgehenden Verwachsung der Mineralien der Erzlagerstätte von Işikdağ — nicht um eine einmalige Ausscheidung gehandelt haben kann. Die Zufuhr dauerte im Gegenteil sehr lange, wobei nicht zu entscheiden ist, ob sie kontinuierlich oder in einzelnen Phasen vor sich ging. Auf alle Fälle erstreckte sich die Zufuhr vom pneumatolytischen bis in den späthydrothermalen Bereich, sodass die zum Teil durch metasomatische Vorgänge (Gangart vorwiegend Kalkspat), zum Teil durch Imprägnation (Gangart Quarz + Turmalin) gebildete Erzlagerstätte von Işikdağ zur Kategorie der pneumatolytisch-hydrothermalen Übergangslagerstätten (Lit. 52, S. 189) im weiteren Sinne zu zählen ist.

Da das Erzvorkommen von Işikdağ Gold enthält, muss man es ferner in die Gruppe der Goldlagerstätten einreihen. Wenn man die von SCHNEIDERHÖHN in seinem kürzlich erschienenen Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde (Lit. 52) wiedergegebene Einteilung der Goldlagerstätten derjenigen von LINDGREN (Lit. 31) gegenüber stellt, erhält man folgendes Schema:

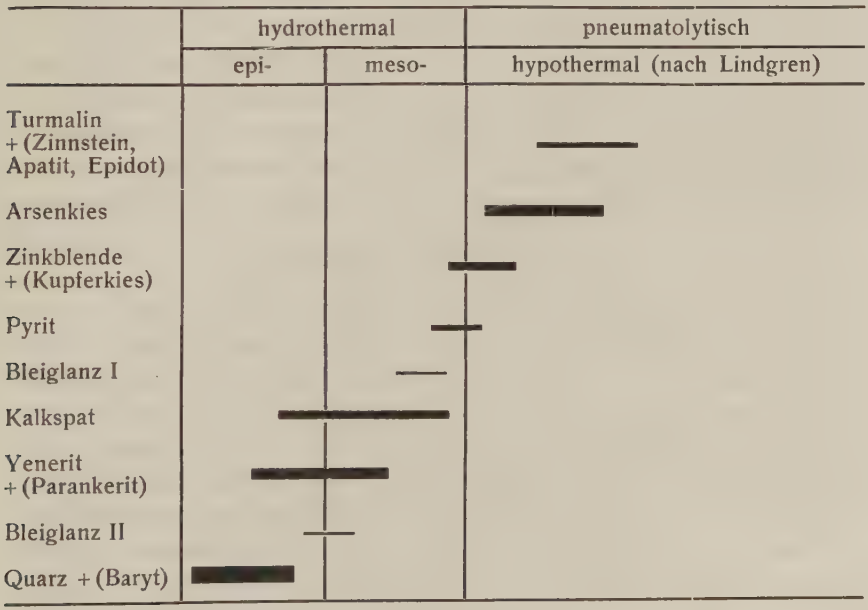
| Ältere Bezeichnung | Bezeichnung von SCHNEIDERHÖHN | | VON LINDGREN |
|---|---|---|---|
| Junge Gold-Silber-Formationen | Subvulkanische Au-Ag-Lagerstätte | | epithermal |
| Ältere Gold-Quarz-Formationen | hypoabyssisch | Kata- bis mesothermale Au-Quarzgänge | mesothermal |
| | hypoabyssisch | pneumatolytische Au-Turmalin-Quarzgänge | hypothermal |

Nach RAMDOHR (Lit. 47, S. 132) zeigt die zunehmende Erfahrung, dass die von NIGGLI verfochtene, u. a. von SCHNEIDERHÖHN und ihm übernommene Einteilung in intrusiv-hydrothermal und extrusiv-hydrothermal sich praktisch nicht halten lassen wird. Die von LINDGREN eingeführten Bezeichnungen sind nach RAMDOHR viel geeigneter, weil sie weniger starr sind.

Übergangsformen zwischen hypoabyssischen und subvulkanischen Goldlagerstätten sind nach SCHNEIDERHÖHN so gut wie unbekannt, dagegen bestehen lückenlose Übergänge zwischen pneumatolytischen Gold-Turmalin-Quarzgängen und kata- bis mesothermalen Gold-Quarzgängen. Die Erzlagerstätte von Işikdağ nimmt nun hier eine einigermassen eigenartige Stellung ein, da sie tatsächlich einen Übergang zwischen hypoabyssischen und subvulkanischen bildet. Zudem befindet sie sich in Sedimenten als metasomatische und imprägnationsartige Bildung, was bei den bisher bekannten Goldlagerstätten nur selten der Fall ist.

Tabelle 5

Successionsfolge der Mineralien der Erzlagerstätte von Işikdağ




Der Erzbringer des Erzvorkommens von Işikdağ ist unbekannt, weil eine direkte Verbindung mit einem Eruptivgestein nicht zu beobachten ist. ZIEGLER ist — wie schon erwähnt — geneigt, die im

N der Erzlagerstätte vorkommenden Quarzporphyre „rein gefühlsmässig" als Erzbringer zu betrachten. Da diese Ergüsse nach den Untersuchungen von BLUMENTHAL als „Intrusions acides précurseures" zu bezeichnen sind, scheint die Annahme ZIEGLER's kaum zu Recht zu bestehen. Viel eher möchten wir annehmen, dass die Vererzung mit dem magmatischen Herd der andesitischen Gesteine in Zusammenhang zu bringen sei, wie Goldlagerstätten bekanntlich häufig im Gefolge von Andesiten auftreten.

In der vorstehenden Tabelle wurde versucht, die Darstellung einer möglichen Successionsfolge der Mineralien zu geben, wie sie sich auf Grund der durchgeführten mikroskopischen Untersuchung ergibt. Die Dicke der einzelnen Linien zeigt das mengenmässige Verhältnis der Mineralien an. Die mengenmässig keine Rolle spielenden Mineralien wurden mit den ungefähr gleichzeitig entstandenen vereinigt. Trotz seiner späteren Bildung findet sich der Kupferkies mit der Zinkblende dargestellt, da er im wesentlichen als Entmischungsprodukt in der Blende vorkommt.

## Aufbereitungsversuche

Die nachfolgend beschriebenen Versuche sollen Anhaltspunkte für die Möglichkeiten der Aufbereitung der Erze von Işikdağ bieten. Als alleinige Basis für die Aufstellung eines detaillierten, technischen Aufbereitungsplanes kommen sie naturgemäss nicht in Frage, da hierfür eine in technischem Masstab und durch entsprechende Fachleute durchgeführte Untersuchung erforderlich wäre.

### MECHANISCHE AUFBEREITUNG

#### Zerkleinerung und Siebanalyse

Wie der Augenschein und die mikroskopische Untersuchung zeigen, sind die Erze von Işikdağ unter sich und mit der Gangart so eng verwachsen, dass eine Trennung durch Handarbeit oder Schwerkraftaufbereitung kaum in Frage kommt. Um dieses qualitative Bild durch eine quantitative Untersuchung zu ergänzen, wurde ein grösseres Erzstück im Mörser zerschlagen und an dem zerkleinerten Gut eine Siebanalyse durchgeführt, welche sich auf die Menge, die Zusammensetzung und den Grad der Zerlegung in die einzelnen Mineralkomponenten einer Reihe von Korngrössenfraktionen erstreckte.

Die Zerkleinerung der 215,8 g schweren Erzprobe erfolgte durch 10 Minuten dauerndes Zerstossen in einem Eisenmörser, dessen

Pistill 1,72 kg wog. Das resultierende Pulver wurde durch eine Siebbatterie gesiebt und die einzelnen Siebfraktionen separat gewogen, mit der Binokularlupe auf Verwachsung untersucht und schliesslich analysiert.

Wir wählten hierfür eine abgekürzte Analysenmethode, welche gestattete, jede Fraktion sehr rasch und mit genügender Genauigkeit in die drei folgenden Komponenten aufzuteilen:

1. Pb-Zn-Mineralien = Venerit + Bleiglanz + Zinkblende;
2. Fe-As-Mineralien = Arkenkies + Pyrit;
3. Gangart = Quarz + Turmalin.

Die Trennung erfolgte auf Grund der Löslichkeit der erstgenannten Mineralien in konz. Salzsäure bzw. der Schwerlöslichkeit der zweitgenannten in ihr nach folgender Arbeitsweise:

Rund 1,5 g der feingepulverten (0,06 mm) und gemischten Probe wurde in einem Glasfiltertiegel (Jena 1G3) eingewogen, auf dem Wasserbad längere Zeit mit konz. HCl behandelt, das Gelöste abfiltriert, der Rückstand ausgewaschen, bei 110° getrocknet und gewogen. Die Gewichtsdifferenz (Menge des Gelösten) ergab das Gewicht der Pb-Zn-Mineralien. Hierauf wurden aus dem im Tiegel verbliebenen Rückstand in analoger Weise mit Hilfe von Königswasser*) die Fe-As-Mineralien herausgelöst und ihr Gewicht bestimmt. Der jetzt noch im Tiegel verbleibende Rückstand bestand aus der Gangart, deren Gewicht aus der Differenz zum Leergewicht des Tiegels hervorging.

Die Methode leidet an der Ungenauigkeit, dass, entgegen den Angaben in Lehr- und Handbüchern der Mineralogie, sowohl Pyrit wie Arsenkies in konz. HCl nicht vollständig unlöslich sind. Eigene Versuche an mikroskopisch reinem Material ergaben, dass unter den Bedingungen der oben beschriebenen Trennung von 1 g Pyrit 4,75 %, von 1 g Arsenkies 1,46 % beim Behandeln mit konz. HCl in Lösung gingen. Dies führt dazu, dass die Summe der Pb-Zn-Mineralien etwas grösser, die der Fe-As-Mineralien etwas kleiner erscheint, als der Wirklichkeit entspricht; der Fehler ist indessen nicht so gross, dass er die Resultate verfälschen würde, umsomehr als in der untersuchten Probe (wie überhaupt in der Erzlagerstätte von Işikdağ) der weniger lösliche Arsenkies gegenüber dem löslicheren Pyrit stark überwiegt.

Im folgenden sind die Resultate der Siebanalyse in tabellarischer Form zusammengestellt. Bei den untersuchten Fraktionen handelt es sich stets um die Rückstände der Siebe mit den angeführten Maschengrössen.

---

*) In Königswasser lösen sich Pyrit und Arsenkies fast rückstandsfrei auf. Salpetersäure gibt starke Schwefelabscheidung, ist also unbrauchbar.

I. Fraktion:

Gewicht: 79,5 g = 36,8 % der zerkleinerten Probe; M = 1,75 mm; Körner maximal 40 mm messend, durchgehend verwachsen.

Zusammensetzung: Pb-Zn-Min. 15,0 %
Fe-As-Min. 44,1 %
Gangart 40,9 %.

II. Fraktion:

Gewicht: 22,5 g = 10,4 %; M = 1,00 mm; mittlere Korngrösse 1,4 mm; Körner verwachsen mit Ausnahme einzelner Quarzkristalle.

Zusammensetzung: Pb-Zn-Min. 14,8 %
Fe-As-Min. 51,8 %
Gangart 34,2 %.

III. Fraktion:

Gewicht: 35,4 g = 16,4 %; M = 0,35 mm; mittlere Korngrösse 0,7 mm; als reine Körner sind in dieser Fraktion neben Quarz auch Spaltstücke von Zinkblende zu beobachten.

Zusammensetzung: Pb-Zn-Min. 13,3 %
Fe-As-Min. 56,0 %
Gangart 30,7 %.

IV. Fraktion:

Gewicht: 31,9 g = 13,0 %; M = 0,10 mm; mittlere Korngrösse 0,2 mm; bei diesem Zerkleinerungsgrad treten ausser den obengenannten Mineralien auch zahlreiche Pyrit- und Arsenkieskörnchen rein auf.

Zusammensetzung: Pb-Zn-Min. 13,0 %
Fe-As-Min. 64,2 %
Gangart 22,8 %.

V. Fraktion:

Gewicht: 11,9 g = 5,5 %; M = 0,06 mm; mittlere Korngrösse 0,08 mm; in dieser Fraktion ist die Trennung des Erzes in die einzelnen Mineralkomponenten eine sehr weitgehende; die grösseren Körnchen sind im allgemeinen Quarz, Pyrit und Arsenkies (diese beiden treten oft in säuliger Form auf und dürften das Sieb in der Längsrichtung passiert haben).

Zusammensetzung: Pb-Zn-Min. 16,3 %
Fe-As-Min. 62,1 %
Gangart 21,6 %.

VI. Fraktion:

Gewicht: 32,5 g = 15,1 %; Durchgang des Siebes mit M = 0,06 mm; diese Fraktion erscheint unter dem Mikroskop in der Hauptsache staubartig; die Trennung in reine Mineralkörnchen ist vollständig; lediglich die Quarzkörnchen, durchschnittlich relativ gross, sind oft durch Erz bestäubt.

Zusammensetzung: Pb-Zn-Min. 36,0 %
Fe-As-Min. 41,0 %
Gangart 23,0 %

Durch das Zerkleinern und Sieben gingen 2,1 g Erz, das heisst 1 % der Ausgangsmenge verloren.

Die Interpretation der Resultate lässt unmittelbar zwei Tatsachen erkennen:

1. Die Verwachsung der Erze ist so innig, dass eine weitgehende Trennung in reine Mineralkörner erst bei Korngrössen unter 0,1 mm vorhanden ist.

2. Es lässt sich eine deutliche Anreicherung der Pb-Zn-Mineralien in den kleinsten, der Fe-As-Mineralien in den mittleren und der Gangart in den grössten Kornklassen feststellen, was im Einklang steht mit den Härteunterschieden der drei Mineralgruppen. Die Anreicherung ist nicht derart ausgeprägt, dass sie als mitbestimmender Faktor bei der Wahl der Separationsverfahren in Rechnung zu stellen wäre.

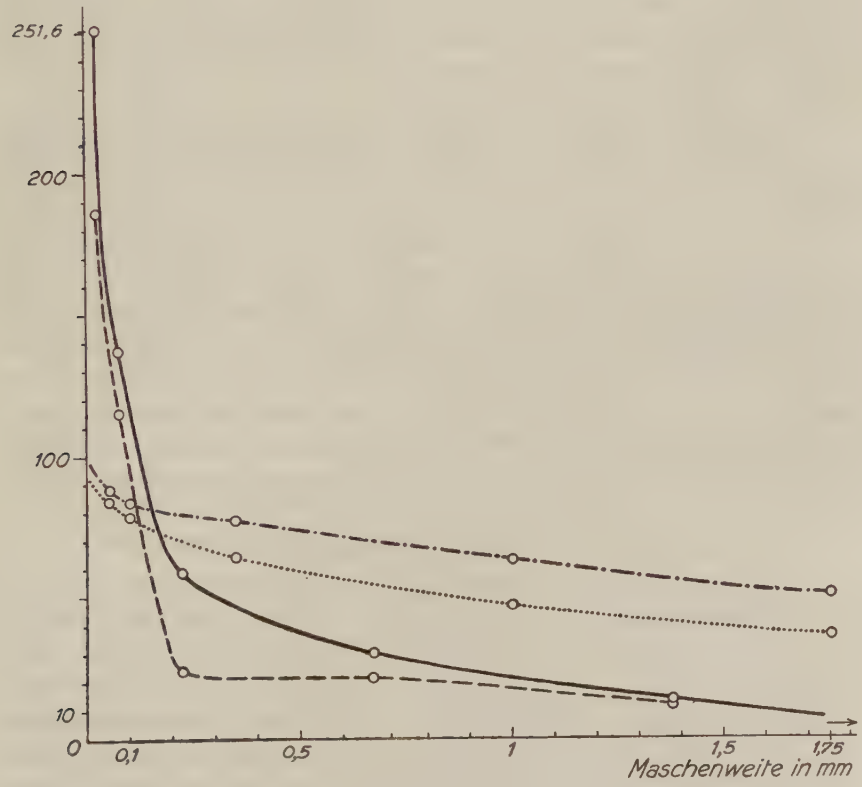



Fig. 6.

Aus den Gewichten der in den einzelnen Korngrössenklassen anfallenden Fraktionen kann man direkt keine Schlüsse ziehen, da die Differenzen der Maschenweiten aufeinanderfolgender Siebe durchaus ungleichmässig variieren. Trägt man indessen die Siebrückstände als Funktion der Maschenweite graphisch auf (s. Fig. 6), so erhält man die Feinheitskennlinie des zerkleinerten Gutes, die an jedem Punkt der Kurve abzulesen erlaubt, wieviel % desselben durch ein Sieb der betreffenden Maschenweite durchgehen, bzw. zurückgehalten würden. Ihr gleichmässiges Ansteigen zeigt, dass keine Korngrösse im Zerkleinerungsgut vorherrscht (Polydispersität), wie zu erwarten war. Interessant ist dagegen die durch Differentiation der Kennlinie erhaltene Kornverteilungskurve, welche Auskunft gibt über die relative Häufigkeit einer bestimmten Korngrösse im Ausgangsmaterial der Siebanalyse. Sie zeigt einen starken Anstieg in Richtung der kleinen Korngrössen, was den Schluss erlaubt, dass die Erze von Işikdağ beim Zerkleinern bevorzugt sehr kleine Partikel liefern.

Um diesen Schluss zu belegen, wurde ein Parallelversuch mit einem Stück Rauracien-Kalk von etwa dem gleichen Volumen (Gewicht = 135 g) wie das des zerkleinerten Erzes unter den gleichen Bedingungen durchgeführt und die erhaltene Feinheitskennlinie sowie die Kornverteilungskurve ebenfalls in Fig. 6 eingetragen. Der Vergleich der Kurvenbilder ergibt, dass der Kalkstein, also ein relativ weiches Gestein, der Zerkleinerung viel grösseren Widerstand entgegensetzt als das stark quarzhaltige Erzstück von Işikdağ. Da bei der Aufarbeitung von Erzen durch Flotation das Mahlen des Haufwerks bis zur nötigen Feinheit anteilsmässig die grössten Kosten zu verursachen pflegt, kann diese Tatsache von Bedeutung sein.

### Schwerkraftaufbereitung (Schlämmen)

Die Trennung von Mineralkörnern gleicher Grössenordnung, aber verschiedener Dichte auf Grund der Differenzen ihrer Fallgeschwindigkeiten in Wasser, gehört zu den wichtigsten Methoden der Aufbereitung. Für die Praxis wie für das Laboratorium sind zahlreiche Schlämmapparate entwickelt worden. Das Prinzip bleibt stets dasselbe, und die Berechnung der Arbeitsbedingungen kann in jedem Fall nach der Stockes-Oseen'schen Formel erfolgen (Lit. 66, S. 180).

Die vorstehend angeführten Resultate der Siebanalyse liessen voraussehen, dass die nassmechanische Aufbereitung für die Erze von Işikdağ ungeeignet ist. Dennoch wurden zwei Schlämmanalysen durchgeführt, einmal, um über die Eignung bzw. Nichteignung der

Methode ein zahlenmässiges Bild zu gewinnen und zum anderen, um die mechanische Wirkung des strömenden Wassers auf die Erze kennen zu lernen. (Die Siebanalyse erfolgte trocken.)

Als Apparat diente der von KOPECKY, dessen Verwendung zwar etwas schwierig und langwierig ist, jedoch zu sehr genauen Resultaten führen soll (Lit. 64). Da die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers in den drei Zylindern stark verschieden ist, so liefert er normalerweise drei (eigentlich vier) Fraktionen stark verschiedener Zusammensetzung, was die Gewinnung sehr reiner Konzentrate erlaubt.

Die Schlämmanalysen wurden mit Proben der Korngrössenfraktion von 0,10—0,35 mm durchgeführt. Für jeden Versuch wurden genau 5,000 g Erz eingewogen, in den Zylinder I (Querschnitt am kleinsten) des KOPECKY-Apparates gegeben und das Wasser mit der vorher regulierten, gewünschten Geschwindigkeit so lange durchfliessen gelassen, bis sich ein stationärer Zustand eingestellt hatte, was ungefähr 5—7 Stunden in Anspruch nahm. Die Regulierung der Wassergeschwindigkeit erfolgte unter der fiktiven Annahme, dass die Mineralkörner unverwachsen vorlägen und durch die mechanische Wirkung des strömenden Wassers nicht beeinflusst würden, nach folgenden zwei Gesichtspunkten:

Versuch a: Alle Gangartteilchen sollten aus dem ersten Zylinder des Kopecky-Apparates weggeschlämmt werden. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde also etwas grösser gewählt als die nach der Stokes-Oseenschen Formel berechnete Fallgeschwindigkeit des grösstmöglichen Gangartteilchens.

Versuch b: Alle Erzteilchen sollten im ersten Zylinder verbleiben. Die Strömungsgeschwindigkeit richtete sich dementsprechend nach der auf gleiche Weise berechneten Fallgeschwindigkeit des kleinstmöglichen Korns des spezifisch leichtesten Erzminerals (Arsenkies).

Die Querschnitte der drei Zylinder des Apparates betrugen:

I. 7,5 $cm^2$ II. 25,0 $cm^2$ III. 258,0 $cm^2$

Die entsprechenden Wassergeschwindigkeiten:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Versuch a: | 5 cm/sek | 1,5 cm/sek | 0,14 cm/sek |
| Versuch b: | 2,8 cm/sek | 0,8 cm/sek | 0,08 cm/sek. |

Die mineralische Zusammensetzung der für die Versuche verwendeten Proben wie auch der in den drei Zylindern verbliebenen „Konzentrate" wurde nach der bei der Siebanalyse beschriebenen Methode bestimmt. Das Gewicht der weggeschlämmten Substanz ergab sich jeweils aus den Differenzen zur Ausgangsmenge.

Wie die Betrachtung der in der Tabelle 6 zusammengestellten Ergebnisse klar ergibt, entsprechen die tatsächlichen Verhältnisse in keiner Weise den bei der Berechnung gemachten Annahmen. Die Gangart verhält sich sehr ähnlich wie die Erzmineralien, wobei die Parallelität im Verhalten mit den Pb-Zn-Mineralien deutlicher ausgeprägt ist als mit den Fe-As-Mineralien. Entsprechend zeigt sich auch die Möglichkeit einer leichten Anreicherung der letzteren bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 1,5 cm/sek. Der optische Befund, dass innerhalb dieser Korngrössenklasse reine Pyrit- und Arsenkieskörner relativ häufig auftreten, dass aber die Verwachsung im Ganzen noch weitgehend ist, wird hierdurch wohl bestätigt.

Tabelle 6. Schlämmversuche

| | Schlämmrückstände in % | | | Zusammensetz. d. Konz. in % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zyl. | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart |
| Versuch a | | | | | | |
| I | 7,5 | 14,6 | 3,0 | 12,8 | 82,2 | 5,0 |
| II | 46,7 | 73,9 | 50,1 | 13,8 | 71,8 | 14,4 |
| III | 34,6 | 6,1 | 42,0 | 36,2 | 20,9 | 42,9 |
| weg | 11,4 | 5,4 | 5,0 | 33,3 | 52,5 | 14,2 |
| Versuch b | | | | | | |
| I | 18,9 | 29,8 | 12,6 | 13,2 | 77,7 | 9,1 |
| II | 52,2 | 65,9 | 55,0 | 14,7 | 69,3 | 16,0 |
| III | 18,9 | 1,2 | 28,7 | 35,8 | 8,1 | 56,1 |
| weg | 10,1 | 3,1 | 3,7 | 39,5 | 45,7 | 14,8 |
| Mineralgehalte in % der verwendeten Proben: | | | | | | |
| | | | Versuch a | 19,0 | 62,5 | 18,5 |
| | | | Versuch b | 17,4 | 64,7 | 17,9 |

Auffallend ist in den Resultaten der Tabelle 6 der verhältnismässig grosse Anteil weggeschwemmter Substanz bei den Pb-Zn-Mineralien. Es muss sich hier um einen mechanischen Zerkleinerungseffekt des strömenden Wassers auf den sehr weichen Yenerit (eventuell auch auf den Bleiglanz) handeln, während die viel kleineren Schlämmverluste bei den anderen Mineralgruppen wohl lediglich auf nicht völlig ausgesiebte, staubartige Anteile in der Ausgangssubstanz zurückzuführen sind (was natürlich auch für einen analogen Anteil der Verluste bei den Pb-Zn-Mineralien zutrifft). Theoretisch hätten bei beiden Versuchen überhaupt keine Verluste durch vollständiges Wegschlämmen eintreten sollen.

In Hinblick auf die Praxis erlauben die Resultate der beiden Schlämmversuche auszusagen, dass Methoden, die auf dem gleichen Prinzip beruhen (Setzarbeit, Spitzkasten, Spitzlutten etc.), für die Aufbereitung der komplexen Erze von Işikdağ nicht in Frage kommen. Was die Trennungsmöglichkeiten durch Herdarbeit (die

vor allem auf Reibung beruht) betrifft, so sind sie zweifellos relativ gering, scheiden aber a priori nicht ohne weiteres vollständig aus. Diesbezügliche Versuche wurden keine durchgeführt.

## FLOTATION

Die Schwimmaufbereitung oder Flotation erlaubt die rationelle Aufbereitung sehr fein verwachsener Erze. Hierauf und auf der Möglichkeit, sie den verschiedensten Mineralbeständen anzupassen, beruht ihre Überlegenheit gegenüber sämtlichen älteren Aufbereitungsmethoden (Lit. 70 und 81).

Das Prinzip der Flotation ist die Nutzbarmachung von Unterschieden in der Benetzbarkeit der Oberflächen verschiedener Mineralien zu deren Trennung. Erzeugt man in der wässerigen Suspension eines feingemahlenen Mineralgemisches durch Einblasen von Luft einen Schaum, so heften sich die Mineralkörner mit schlecht benetzbaren – hydrophoben — Oberflächen an die Luftblasen, steigen mit ihnen zur Wasseroberfläche und können dort ausgetragen werden. Die wasserbenetzbaren — hydrophilen — Partikeln verbleiben im Wasser und werden an anderer Stelle aufgebracht. Zur Erzeugung, Verstärkung und Regulierung der gewünschten Benetzbarkeitsunterschiede dienen winzige Mengen organischer Reagenzien, Sammler genannt und in zweiter Linie anorganische Elektrolytzusätze: regelnde Schwimmittel. Um einen stabilen Schaum zu erhalten, wird ein Schaummittel (Schäumer) ebenfalls organischer Herkunft zugesetzt.

So einfach das Prinzip der Flotation ist, so vielfältig sind die Faktoren, die ihren Verlauf beeinflussen, und man ist noch weit davon entfernt, jede empirisch gefundene Gesetzmässigkeit oder auch Unregelmässigkeit theoretisch erklären zu können. Es gibt heute eine Anzahl im allgemeinen zutreffender Regeln für die Flotation der häufigsten Mineralien, vor allem der Sulfide. Dennoch müssen bei jeder Lagerstätte die besten Bedingungen für eine Schwimmaufbereitung durch zahlreiche Laboratoriumsversuche erforscht werden, da nicht nur der Mineralbestand, sondern auch Struktur, Textur, Verwitterungsgrad und kleine Verunreinigungen der Erzmineralien einen grossen Einfluss haben können. Selbst die Temperatur und namentlich die Art des Wassers spielen eine gewisse Rolle. Ausserdem kommt oft in einer Lagerstätte ein sonst seltenes Erz- oder Gangartmineral verhältnismässig häufig vor, wie zum Beispiel gerade in Işikdağ Yenerit und filziger Turmalin, was wiederum besondere Vorversuche erheischt.

Die von uns durchgeführten Flotationsversuche gliedern sich in einen mehr theoretischen Teil mit Versuchen an reinen Erzmineralien und einen mehr praktischen, der die Schwimmaufbereitung der Komplexerze der Lagerstätte von Işikdağ behandelt.

## Flotationsversuche mit reinen Erzmineralien

In Anlehnung an den Mineralbestand des Erzvorkommens von Işikdağ wurden diese Versuche mit Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit Arsenkies und Antimonit durchgeführt, in der Hoffnung, dass der letztere infolge seines Antimongehaltes sich eventuell analog dem Yenerit verhalten würde. Als Gangart dienten Quarz und Kalkspat. Von all diesen Mineralien wurden gut ausgebildete Kristalle gewählt, deren Reinheit durch die mikroskopische Untersuchung der daraus hergestellten Pulver erhärtet wurde. Der Bleiglanz stammte aus der Bleimine Rookhope (Eastegate, Weardale), die Herkunft der übrigen Stücke war unbekannt.

### *Apparatur und Arbeitsweise*

Verwendet wurde eine auf Leaf und Knoll (Lit. 75) zurückgehende und durch J. v. Steiger (Lit. 83) und H. Kam (Lit. 76) modifizierte Apparatur, die ein Arbeiten mit relativ sehr kleinen Erzmengen gestattete. Sie bestand im wesentlichen aus einer durch ein angeschmolzenes Glasrohr nach oben um ca. 15 cm verlängerten Glasfilternutsche (Jena 3G3) von insgesamt rund 90 $cm^3$ Fassungsvermögen. Von unten konnte je nach Bedarf Luft aus einem Wasserstrahlgebläse durch das Glasfilter eingeblasen werden, was eine kräftige Schaumentwicklung ermöglichte. Der aus dem Rohr überschäumende Flüssigkeitsanteil wurde in einem Auffangsgefäss gesammelt und lief von dort in eine kleine Mensur, wo sein Volumen abgelesen wurde. Die Apparatur ermöglicht bei Aufgaben von 2 g eine Reproduzierbarkeit der Resultate auf 2—3 % (Lit. 76, S. 36).

Die Arbeitsweise war kurz folgende: Die Aufgabe wurde in ein Wägegläschen eingewogen, dort 2—3 Minuten mit den Zusätzen (regelnden Schwimmitteln) und weitere 2—3 Minuten mit dem Sammler behandelt (= Konditionierung). Hierauf wurde der Inhalt des Wägegläschens in die Flotations-„Zelle" gespült und die „Trübe" (Erz + Wasser + Flotationsreagenzien) nach Zusatz eines Terpentinöltropfens mit Wasser auf 70 $cm^3$ aufgefüllt. Dann erfolgte durch Einblasen von Luft die Schaumerzeugung, die so weit getrieben wurde, dass im Verlauf von etwa 5 Minuten ca. 20 $cm^3$ der Trübe überschäumten. Der übergetretene, mehr oder weniger mineralhaltige Schaum, das Spumat, wurde durch einen Glasfiltertiegel (Jena 1G3) filtriert und die in diesem zurückbleibenden Feststoffe, das Konzentrat, getrocknet, gewogen und wenn nötig analysiert.

Für eine eingehendere Beschreibung von Apparatur und Arbeitsmethode sei auf die schon zitierte Arbeit von H. Kam (Lit. 76) verwiesen. Die vorliegenden Versuche wichen davon nur insofern ab, als zur Erzeugung des Schaums in Anlehnung an die Bedingungen der Technik Luft an Stelle von Stickstoff Verwendung fand.

Der Einfluss des Luftsauerstoffs kann eine leichte Oxydation der Sulfide bewirken und durch Bildung von Schwefelsäure zu einer Änderung des $p_H$-Werts führen. Dieser blieb innerhalb 10 Minuten unter der Nachweisgrenze von 0,3. Dagegen sank der $p_H$-Wert von destilliertem Wasser infolge des Einflusses der Luft-Kohlensäure unter den Versuchsbedingungen innerhalb der gleichen Zeitdauer von 6 auf 5.

Die Trübedichte (Gewicht der Aufgabe : Gewicht der Trübe) variierte bei unseren Versuchen zwischen 1 : 14 und 1 : 35, was im Vergleich zur Praxis, die durchschnittlich mit 1 : 4 arbeitet, eine grosse Verdünnung darstellt. Nach Newton und Ipsen (Lit. 78) und nach Mosmann (Lit. 77) hat jedoch die Verdünnung keinen wesentlichen Einfluss auf das Ausbringen und die Trennungsergebnisse. Dagegen wächst natürlich der Reagenzienverbrauch mit wachsender Verdünnung, da er nicht nur von der Aufgabe, sondern auch von der Konzentration abhängt.

## Flotation einfacher Sulfide mit Oxin als Sammler

Für die Schwimmaufbereitung der sulfidischen Mineralien dienen als Sammler in erster Linie die Xanthate. Die Mehrzahl der geltenden Flotationsregeln beziehen sich auf diese. Es schien deshalb interessant, den Gesetzmässigkeiten nachzugehen, welche bei Verwendung anderer Stoffe als Sammler auftreten. Die Wahl fiel auf das bekannte analytische Reagens 8-Oxychinolin (Oxin), dessen Sammlereigenschaften J. v. Steiger (Lit. 83) mittels Flotationsversuchen an oxydischen Mineralien untersucht und dabei ihre weitgehende Parallelität mit den analytischen Eigenschaften festgestellt hatte. Wie bereits in einer vorläufigen Mitteilung bekanntgegeben wurde (Lit. 84), führten die Versuche an sulfidischen Erzen zum selben Resultat, das zusammenfassend folgendermassen formuliert wurde: „In allen Fällen, in denen das Flotieren eines Minerals eindeutig einer sammelnden Wirkung des Oxins zugeschrieben werden kann, tritt diese Wirkung unter Bedingungen ein, bei denen mindestens einer der Bestandteile des Minerals (in Ionenform) zum Eingehen einer schwerlöslichen Verbindung mit Oxin neigt. Die heterogene Reaktion der orientierten Anlagerung der Oxinmolekel an die Mineraloberfläche (= Grundbedingung für die Sammlerwirkung) scheint also wesentlich an dieselben Umstände geknüpft zu sein und demnach von denselben Kräften — chemische Affinitäten — bewirkt

zu werden, wie die entsprechenden Reaktionen in der homogenen Phase. Die Übereinstimmung der Umstände erstreckt sich nicht auf die Konzentrationsverhältnisse der beteiligten Ionen, die an den Oberflächen der Mineralkörner naturgemäss andere sind als in einer homogenen Lösung (Lösungssphäre der Körner, Anreicherung des Oxins in der Korngrenzfläche infolge seiner Oberflächlichkeit)."

Die Versuchsergebnisse finden sich in der Tabelle 7. Da sich der Arsenkies bei der Flotation weitgehend analog dem Pyrit verhielt, wurden mit ihm nur ein Teil der am Pyrit gemachten Versuche wiederholt und von diesen nur eine Auswahl in die Tabelle aufgenommen. Dasselbe gilt für das Paar Bleiglanz und Zinkblende.

Tabelle 7

Flotation einfacher Sulfide mit Oxin als Sammler

| Versuch | Ausbringen % | Oxin mg | Zusätze ccm |
|---|---|---|---|
| a) Bleiglanz | | | |
| 1 | 90,2 | — | — |
| 2 | 68,8 | — | — |
| 3 | 20,3 | — | 1 2n HCl |
| 4 | 91,5 | 10 | — |
| 5 | 85,3 | 10 | 1 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 6 | 91,2 | 10 | 2 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 7 | 94,6 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 8 | 90,2 | 10 | 25 Kalkwasser |
| 9 | 88,2 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$<br>1 Wasserglas |
| 10 | 63,5 | 10 | 1½ 2n NaOH |
| b) Zinkblende | | | |
| 1 | 81,4 | — | — |
| 2 | 92,4 | 10 | — |
| 3 | 95,2 | 10 | 1 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 4 | 97,6 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 5 | 82,0 | 10 | 25 Kalkwasser |
| 6 | 96,9 | 10 | 1½ NaOH |
| c) Antimonit | | | |
| 1 | 35,1 | — | — |
| 2 | 16,4 | — | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 3 | 91,6 | — | 1 2n HCl |
| 4 | 93,8 | 10 | — |
| 5 | 97,2 | 10 | 2 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 6 | 69,6 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 7 | 84,2 | 10 | 1 Wasserglas |
| 8 | 19,9 | 10 | 1 2n NaOH |
| 9 | 93,9 | 10 | 1 2n HCl |

Tabelle 7 (Fortsetzung)

| Versuch | Ausbringen % | Oxin mg | Zusätze ccm |
|---|---|---|---|
| d) Pyrit | | | |
| 1 | 64,4 | — | — |
| 2 | 31,2 | — | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 3 | 18,3 | — | 1 2n NaOH |
| 4 | 82,9 | — | 1 2n HCl |
| 5 | 89,4 | 10 | — |
| 6 | 66,5 | 10 | 1 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 7 | 54,3 | 10 | 2 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 8 | 89,7 | 10 | 3 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 9 | 91,3 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 10 | 45,4 | 10 | 25 Kalkwasser |
| 11 | 81,0 | 10 | 1 Wasserglas |
| 12 | 20,6 | 10 | 1 2n NaOH |
| 13 | 91,3 | 10 | 1 2n HCl |
| 14 | 45,9 | 10 | 1½ 1:1 HCl |
| e) Arsenkies | | | |
| 1 | 59,6 | — | — |
| 2 | 86,3 | 10 | — |
| 3 | 83,7 | 10 | 1 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 4 | 93,2 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 5 | 15,6 | 10 | 25 Kalkwasser |

Versuchsdaten: Einwage: $2{,}000 \pm 0{,}005$ g; Korngrösse: unter 0,06 mm; Schäumer: 1 Tropfen Terpineol; Sammler: 1% Lösung von Oxin in 0,1n HCl (10 mg führen der Trübe also gleichzeitig 1 ccm 0,1n HCl zu); Zusätze: „Wasserglas" bedeutet die 1:10 verdünnte käufliche Lösung. Beim Bleiglanz wurde Versuch 1 mit ganz frisch gepulvertem Erz durchgeführt.

Bei der Betrachtung der Resultate fallen zunächst die grossen Unterschiede des Ausbringens auf, die ohne Sammlerzusatz, lediglich durch Änderung der Elextrolytzugaben (Variation des $p_H$) zu erhalten sind. Dieser Tatsache wird in der Literatur nicht immer die nötige Beachtung geschenkt, obwohl sie zu falschen Schlüssen in der Interpretation von Flotationsversuchen führen kann. Im vorliegenden Fall schien beispielsweise das gute Flotieren von Pyrit und Antimonit in saurer Lösung (mit Oxin als Sammler) im Widerspruch zum analytischen Verhalten des Oxins zu stehen. Der Versuch ohne Sammler ergab, dass es sich gar nicht um eine Sammlerwirkung, sondern um natürliche Hydrophobie der Mineralien handelte. In neutraler und alkalischer Lösung überziehen sich Pyrit und wahrscheinlich auch Antimonit mit einer hydrophilen „Haut" von (stark hydratisierten) Hydroxylionen, wodurch die in saurer Lösung vorhandene, natürliche Hydrophobie abgeschwächt oder aufgehoben wird. Für Pyrit ist diese Adsorption mehrfach nachgewiesen (Lit. 81, S. 119 u. 123).

Bleiglanz zeigt in saurer Lösung ein starkes Abfallen der natürlichen Schwimmfähigkeit, verhält sich also gerade umgekehrt wie die vorgenannten Mineralien. Nach FAHRENWALD (Lit. 81, S. 119) adsorbiert er in saurem Bereich Wasserstoffionen. Ob die schlechte Schwimmfähigkeit hierauf oder auf lösenden Angriff durch die Säure (identisch mit zunehmender Hydratisierung der Gitterbausteine) zurückzuführen ist, sei einstweilen offen gelassen. Der analytischen Erfahrung nach wäre letzteres möglich, da die Bleisulfidfällung sehr säureempfindlich und bei einer Säurekonzentration von 1,5n HCl bereits nicht mehr existenzfähig ist. Die Bestimmungen der Löslichkeit von gealtertem Bleisulfid und von Bleiglanz bestätigen diese Ansicht nicht ohne weiteres, denn die älteren Werte (Lit. 81, S. 113) sind kleiner als beispielsweise die analogen Werte für die Löslichkeit von Antimonsulfid. Einstweilen ist aber die genaue Bestimmung sehr geringer Löslichkeiten noch problematisch, und die neuesten Werte für Bleisulfid und Bleiglanz liegen wieder wesentlich über dem älteren Wert für Antimonsulfid (Lit. 74).

Interessant ist beim Bleiglanz die starke Abnahme der natürlichen Schwimmfähigkeit mit zunehmendem Alter des Erzpulvers. Diese Erscheinung, die auf Oxydation durch den Luftsauerstoff beruht, zeigte sich bei allen untersuchten Sulfiden, beim Bleiglanz jedoch am ausgeprägtesten.

Bei den mit Sammlerzusatz erhaltenen Resultaten ist das gute Ausbringen von Pyrit und Arsenkies in sodaalkalischer Trübe festzuhalten. In der Xanthatflotation verhalten sich diese Mineralien normalerweise umgekehrt, indem sie durch Zusatz von Soda oder einer entsprechenden Menge von Kalk gedrückt werden (Lit. 81, S. 200). Was die theoretische Interpretation der Versuchsergebnisse betrifft, so sei auf die bereits erwähnte Publikation (Lit. 84) und deren eingangs zitierte Schlussfolgerung verwiesen.

Wenn wir die Tabelle 7 im Hinblick auf die praktische Verwendbarkeit des Oxins als Sammler für die sortenweise Schwimmaufbereitung sulfidischer Mineralien durchgehen, so zeigt sich folgendes: in stark alkalischer Lösung (NaOH-Zusatz) schwimmt Zinkblende ausgezeichnet, während Pyrit, Arsenkies und Antimonit stark gedrückt werden. Es lässt sich also theoretisch die Möglichkeit einer Trennung der Zinkblende von den drei genannten Mineralien voraussehen. Da in Işikdağ jedoch auch Bleiglanz vorkommt, der im alkalischen Milieu eine Mittelstellung des Ausbringens einnimmt, kommt diese Methode für die betreffenden Erze kaum in Frage.

*Flotative Trennung einfacher Sulfid-Gangartgemische mit Oxin als Sammler*

Diese Versuche wurden mit den gleichen Erzpulvern durchgeführt wie die eben beschriebenen. Als „Gangarten" dienten Kalkspat und Quarz. Der erstere löste sich rückstandsfrei in 1n HCl und wies analytisch nur wenig Magnesium und Spuren von Eisen auf. Der Quarz war wasserklarer, im Pulverpräparat mikroskopisch reiner Bergkristall.

Die Bestimmung des Erzgehaltes der Konzentrate geschah einfach und genau auf chemischem Weg, indem entweder der Kalkspat durch 1n HCl (Tabelle 8, a) oder das Erzmineral durch Königswasser (Tabelle 8, b) aus dem gewogenen Konzentrat weggelöst wurde.

Tabelle 8

Trennung einfacher Sulfid-Gangartgemische mit Oxin als Sammler

| No. | Erz | Ausbringen % Erz | Ausbringen % G. art. | Erzgehalt des Konz. % | Oxin mg | Zusätze ccm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Trennung Erz-Kalkspat | | | | | | |
| 1 | Bleiglanz | 72,0 | 24,9 | 74,3 | — | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 2 | Bleiglanz | 95,0 | 41,8 | 69,4 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 3 | Zinkblende | 96,1 | 33,1 | 74,4 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 4 | Zinkblende | 60,6 | 50,9 | 54,4 | 10 | 25 Kalkwasser |
| 5 | Antimonit | 19,5 | 14,9 | 56 7 | — | 1 0,1n $Na_2CO_3$<br>1 Wasserglas |
| 6 | Antimonit | 88,3 | 11,2 | 88,8 | 10 | 1 0,1n $Na_2CO_3$<br>1 Wasserglas |
| 7 | Pyrit | 26,9 | 8,5 | 76,0 | — | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 8 | Pyrit | 91,4 | 33,0 | 73,5 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 9 | Pyrit | 28,4 | 37,8 | 42,3 | 10 | 25 Kalkwasser |
| 10 | Arsenkies | 87,4 | 41,3 | 67,9 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 11 | Arsenkies | 36,3 | 41,0 | 47,0 | 10 | 25 Kalkwasser |
| b) Trennung Erz-Quarz | | | | | | |
| 1 | Bleiglanz | 46,6 | 13,5 | 77,5 | — | 1 2n $Na_2CO_3$<br>1 Wasserglas |
| 2 | Bleiglanz | 86,7 | 15,4 | 84,9 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$<br>1 Wasserglas |
| 3 | Zinkblende | 96,2 | 20,8 | 82,2 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 4 | Antimonit | 14,7 | 8,1 | 64,5 | — | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 5 | Antimonit | 89,7 | 13,5 | 86,9 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 6 | Pyrit | 39,4 | 8,2 | 82,8 | — | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 7 | Pyrit | 91,5 | 27,5 | 76,9 | 10 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 8 | Arsenkies | 76,5 | 10,3 | 88,1 | 10 | 1 Wasserglas<br>1 2n $Na_2CO_3$ |

Versuchsdaten: Einwage für alle Versuche je $1{,}000 \pm 0{,}005$ g Erz und Gangart. Erzgehalt des Ausgangsgemisches also 50 %. Übrige Versuchsdaten wie unter Tabelle 7.

Die Betrachtung der Resultate ergibt, dass Oxin für die Trennung sulfidischer Mineralien von den häufigsten Gangarten brauchbar ist, ohne aber besonders hervorragende Resultate zu ergeben. Neue theoretische Gesichtspunkte treten hierbei nicht auf. Wie die Versuche No. 2, 3, 4, 8, 9, 10 und 11 zeigen, hat Oxin für Kalkspat eine beachtliche (und unerwünschte) Sammlerwirkung, wenn dessen Schwerlöslichkeit durch Zusatz von Soda oder Kalkwasser erhöht wird. Kalkwasser ist das beste und billigste Mittel, um die Kiese am Aufschwimmen zu hindern, zu „drücken" (welcher Zweck in den Versuchen 9 und 11 angestrebt wurde). Die eben erwähnte, unerwünschte Nebenwirkung schränkt daher die Verwendung von Oxin als Sammler beim Vorhandensein karbonatischer Gangart ein.

## Flotationsversuche an den Komplexerzen von Işikdağ

Die Versuche erstreckten sich nur auf Erzproben, die keine kalkige Gangart aufwiesen. Die zur Flotation verwendeten Pulver wurden direkt durch das 0,06 mm Sieb passiert und waren bedeutend weniger staubartig als die Fraktion VI der Siebanalyse. Die Analyse des zu flotierenden Gutes und der Konzentrate erfolgte in der bei der Siebanalyse beschriebenen Weise. Statt der Flotationskonzentrate wurden öfters die „Berge" (der in der Flotationszelle zurückbleibende Teil des Gutes) analysiert, die weniger Erz enthielten und deshalb rationeller untersucht werden konnten. Die Zusammensetzung des Konzentrates wurde dann durch Differenzbildung errechnet.

### *Trennung der Erze von der Gangart (Allflotation)*

Die mit dem Ausdruck Allflotation bezeichnete Schwimmaufbereitung hat zum Ziel, die Gesamtheit der Erzmineralien möglichst weitgehend von der Gangart zu trennen und anzureichern, wobei die Erzverluste möglichst gering bleiben sollen.

Die Betrachtung der in der Tabelle 9 zusammengestellten Resultate führt zum Schluss, dass die Allflotation in saurer Lösung das beste Ausbringen der Erzmineralien ergibt und dass die Verwendung von Äthylxanthat als Sammler befriedigende Ergebnisse liefert, sowohl in bezug auf das Ausbringen als auch auf die Anreicherung der Erzmineralien. In der Praxis müsste man, wegen der Anwesenheit von karbonatischer Gangart, wohl auf die Anwendung der optimalen Säurekonzentration verzichten, doch sind die Resultate in schwach saurer Lösung noch annehmbar.

Tabelle 9
Allflotationsversuche an Erzen von Işikdağ

| No. | Ausbringen in % Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Zusammensetzg. d. Konz.% Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Zusätze cm³ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a) Ohne Sammler | | | | | | | |
| 1 | 75,8 | 87,3 | 14,3 | 14,6 | 75,8 | 9,6 | 1 2n HCl |
| 2 | 63,6 | 58,1 | 23,2 | 15,6 | 64,5 | 19,9 | 1 0,1n HCl |
| 3 | 55,7 | 53,3 | 18,9 | 15,5 | 66,7 | 17,8 | 1 2n $CH_3COOH$ |
| 4 | 47,7 | 52,7 | 15,4 | 16,7 | 64,5 | 18,8 | — |
| 5 | 31,7 | 9,1 | 13,2 | 26,7 | 34,5 | 38,8 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| b) Mit Oxin als Sammler (pro Versuch 10 mg) | | | | | | | |
| 6 | 49,2 | 65,6 | 24,0 | 11,5 | 69,0 | 19,5 | 1 2n $CH_3COOH$ |
| 7 | 71,9 | 88,4 | 40,0 | 11,8 | 65,4 | 22,8 | — |
| 8 | 50,6 | 79,1 | 19,9 | 10,6 | 74,8 | 14,6 | 1 0,1n $Na_2CO_3$ |
| 9 | 82,2 | 89,0 | 34,4 | 13,5 | 66,0 | 20,5 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 10 | 46,3 | 75,2 | 36,3 | 9,0 | 66,2 | 24,8 | 1 2n $Na_2CO_3$<br>1 Wasserglas |
| 11 | 69,6 | 88,4 | 29,8 | 17,6 | 67,2 | 15,2 | 1 2n $Na_2CO_3$<br>1 1:10 $H_2SiF_6$ |
| 12 | 24,1 | 10,5 | 15,1 | 28,0 | 36,8 | 35,2 | 2½ Wasserglas<br>1 2n $H_2SO_4$ |
| c) Mit Xanthat als Sammler (pro Versuch 10 mg) | | | | | | | |
| 13 | 88,3 | 92,5 | 28,7 | 14,6 | 68,9 | 16,5 | 1 2n HCl |
| 14 | 89,8 | 98,0 | 25,6 | 14,5 | 71,1 | 14,4 | 1 2n $H_2SO_4$ |
| 15 | 82,1 | 98,5 | 22,3 | 19,4 | 70,0 | 10,6 | 1 2n $H_2SO_4$<br>1 1:10 $H_2SiF_6$ |
| 16 | 77,4 | 97,5 | 22,5 | 18,6 | 70,4 | 11,0 | 1 1:10 $H_2SiF_6$ |
| 17 | 82,0 | 91,6 | 33,6 | 13,4 | 67,5 | 19,1 | 2 0,1n HCl |
| 18 | 90,8 | 99,0 | 24,2 | 14,6 | 71,8 | 13,6 | 1 0,1n HCl<br>1 Wasserglas |
| 19 | 89,8 | 97,5 | 26,0 | 14,5 | 70,9 | 14,6 | 1 Wasserglas<br>1 2n $H_2SO_4$ |
| 20 | 92,8 | 99,3 | 41,3 | 13,5 | 61,4 | 25,1 | 1 2n $H_2SO_4$<br>2½ Wasserglas |
| 21 | 72,4 | 80,5 | 37,8 | 12,8 | 64,0 | 23,2 | — |
| 22 | 69,9 | 78,7 | 35,7 | 12,7 | 64,6 | 26,7 | 1 2n $Na_2CO_3$ |
| 23 | 40,4 | 30,4 | 13,7 | 17,9 | 60,9 | 21,2 | 1½ 2n NaOH |

Versuchsdaten: Einwage 5,000 ± 0,005 g.

| Zusammensetzung der Aufgabe: | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart |
|---|---|---|---|
| Versuche 11, 12, 15 und 16 | 16,6% | 49,9% | 33,5% |
| Alle übrige Versuche | 11,1% | 50,1% | 38,8% |

Die Zugabe des Xanthats erfolgte in Form einer 1% wässerigen Lösung. Übrige Daten wie unter Tabelle 7.

Interessant ist die verschiedenartige Sammlerwirkung des Oxins und des Xanthats. Während letzteres in saurer Lösung die besten, in sodaalkalischer Lösung aber sehr mittelmässige Ergebnisse zeitigte, verhielt sich das Oxin gerade umgekehrt. Die Anreicherung der Erzmineralien ist bei den Versuchen mit Oxin durchschnittlich geringer als bei denen mit Xanthat. Dies dürfte eine Folge der bereits von VON STEIGER (Lit. 83, S. 14 u. 44) erwähnten Tatsache sein, dass Oxin dem Quarz eine gewisse Schwimmfähigkeit verleiht, besonders in saurer bis leicht alkalischer Lösung.

*Einfluss verschiedener Faktoren auf die Flotationsergebnisse*

Wie einleitend gesagt wurde, sind die Faktoren, welche die Ergebnisse der Flotation bedingen, sehr zahlreich. Um den spezifischen Einfluss einiger der wichtigeren Faktoren zahlenmässig kennen zu lernen, erfolgte die Durchführung einer Reihe von Versuchen, bei denen jeweils e i n Faktor variiert, die übrigen Bedingungen konstant gelassen wurden.

*Variation der Menge des Aufgabegutes*

Diese Versuche wurden unternommen, um einen Anhaltspunkt für die in der Praxis notwendigen Sammlermengen zu gewinnen, die naturgemäss mit steigender Trübedichte relativ abnehmen. Wie die in der Tabelle 10 angeführten Resultate beweisen, genügen die

Tabelle 10

Abhängigkeit des Ausbringens von der Menge des Aufgabegutes bei konstanter Sammlermenge

| No. | Aufgabe g | Ausbringen in % | | | Zusammensetzung d. Konz. % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart |
| a) Mit 10 mg Xanthat als Sammler | | | | | | | |
| 1 | 3,003 | 86,5 | 77,9 | 66,6 | 19,0 | 51,5 | 29,5 |
| 2 | 5,002 | 79,4 | 83,2 | 28,1 | 20,6 | 64,8 | 14,6 |
| 3 | 9,999 | 89,0 | 96,6 | 43,5 | 19,1 | 62,2 | 18,7 |
| 4 | 15,000 | 87,6 | 94,2 | 33,8 | 20,0 | 64,5 | 15,5 |
| b) Mit 10 mg Oxin als Sammler | | | | | | | |
| 5 | 3,000 | 96,6 | 95,5 | 51,2 | 19,8 | 59,8 | 21,2 |
| 6 | 5,002 | 72,4 | 92,5 | 47,0 | 16,3 | 62,5 | 21,2 |
| 7 | 10,002 | 90,0 | 97,8 | 64,8 | 17,5 | 57,1 | 25,4 |
| Zusammensetzung der Aufgabe | | | | | 16,6 | 49,9 | 33,5 |

bei unseren Versuchen gebrauchten Sammlerquantitäten für das Ausbringen des Vielfachen der normalerweise eingewogenen Aufgaben. Das Optimum lässt sich mit der für die Versuche verwendeten Zelle infolge ihrer zu geringen Dimensionen nicht feststellen.

Auffallend ist der Verlauf des Ausbringens, der bei 5 g Aufgabe ein Minimum aufweist. Wahrscheinlich hängt das mit Flockungserscheinungen zusammen, die sich bei der höheren Trübedichte besser ausbilden können (Lit. 81, S. 97 ff.).

Die Resultate mit Oxin als Sammler in bezug auf das Ausbringen sind teilweise den mit Xanthat erhaltenen überlegen, was im Widerspruch mit den Schlussfolgerungen aus Tabelle 9 zu stehen scheint. Der Grund liegt darin, dass durch die Oxinzugabe die Trübe leicht angesäuert wurde, was beim Xanthatzusatz nicht der Fall war (vgl. die Angaben unter Tabelle 9). Dagegen ist die Anreicherung der Erzmineralien durch Oxin auch bei diesen Versuchen durchschnittlich geringer als die durch Xanthat bewirkte. In bezug auf die Anreicherung ist allerdings generell zu bemerken, dass die untersuchten Proben durchgehend derart reich an Erz waren, dass eine weitgehende Anreicherung durch die Flotation überhaupt nicht möglich war.

*Variation der Korngrösse*

Grösse, Form und spezifisches Gewicht der Mineralkörner spielen für ihre Flotationsfähigkeit eine wesentliche Rolle. Bei Hydrophobie der Kornoberfläche wird die Haftfestigkeit zwischen Korn und Luftblase desto grösser sein, je grösser die Berührungsfläche ist (Einfluss der Form); je geringer das spezifische Gewicht eines Kornes ist, desto grösser kann das Korn sein, ohne infolge der Schwerkraft von der Luftblase sich zu lösen.

Die Tabelle 11 enthält die Resultate einiger Versuche, welche den Einfluss der Korngrösse auf die Schwimmfähigkeit der Erze von Işikdağ klarlegen sollen. Die untersuchten Proben entsprechen den verschiedenen Fraktionen der Siebanalyse. Wie man sieht, bleibt das Ausbringen der Erzmineralien bis zur Korngrösse von 0,35 mm konstant und fällt erst bei höheren Werten rasch ab, was mit den üblichen Flotationsregeln in Einklang steht. Nach Petersen (Lit. 81, S. 137) liegt die obere Grenze für die betriebliche Schwimmaufbereitung von Erzen bei Korngrössen von 0,3—0,5 mm.

Es mag hier beigefügt werden, dass bei Versuchen mit Oxin als Sammler das Ausbringen schon bei wesentlich kleineren Korngrössen zu sinken anfängt, dass also dessen sammelnde (hydrophobisierende) Kraft geringer ist als die des Äthylxanthats. Dies hängt mit der aromatischen Struktur des Oxins zusammen.

Tabelle 11

Abhängigkeit des Ausbringens von der Korngrösse

| No. | Korngröße mm | Ausbringen in % | | | Zusammensetzung d. Konz. % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart |
| 1 | 0,06 | 87,4 | 97,1 | 14,3 | 21,4 | 71,5 | 7,1 |
| 2 | 0,06—0,10 | 88,0 | 97,5 | 39,4 | 17,2 | 72,7 | 10,1 |
| 3 | 0,10—0,35 | 88,5 | 99,1 | 51,7 | 13,2 | 73,2 | 13,6 |
| 4 | 0,35—1,00 | 57,9 | 48,5 | 9,7 | 20,4 | 71,8 | 7,8 |
| 5 | 1,00—1,75 | 6,8 | 2,6 | 0,8 | 38,5 | 50,8 | 10,7 |

Versuchsdaten: Einwage: 5,000 ± 0,005 g; Sammler: 5 mg Xanthat; Zusätze: 1 $cm^3$ 2n $H_2SO_4$ + 1 $cm^3$ Wasserglas. Zusammensetzung der Einwagen:

| Korngröße mm | 0,06 | 0,06—0,10 | 0,10—0,35 | 0,35—1,00 | 1,00—1,75 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pb-Zn-Min. | 16,6 | 16,3 | 13,0 | 13,3 | 14,8 |
| Fe-As-Min. | 49,9 | 62,1 | 64,2 | 56,0 | 51,0 |
| Gangart | 33,5 | 21,6 | 22,8 | 30,7 | 34,2 |

Im Gegensatz zu den Erzmineralien zeigt die Gangart ein starkes Ansteigen des Ausbringens mit wachsender Korngrösse, das allerdings oberhalb 0,35 mm in ein jähes Abfallen umschlägt. Der Grund liegt lediglich in der Tatsache, dass bei den Korngrössenfraktionen über 0,06 mm die Gangart häufig mit Erzmineralien verwachsen ist und dann durch die hydrophoben Erzpartikeln in den Schaum getragen wird. Im Vergleich zu den Resultaten der Schlämmanalyse ist aber die Anreicherung der Erzmineralien auch in der Kornklasse 0,1—0,35 mm noch beträchtlich. Angesichts der Tendenz der Erzproben von Işikdağ, bevorzugt sehr kleine Partikel zu liefern (s. Siebanalyse), dürfte eine Zerkleinerung bis zur Maximalkorngrösse von 0,35 mm demnach für die Aufbereitung durch Allflotation genügen.

*Variation der Temperatur*

Im Gebiet von Işikdağ schwankt die Temperatur in einem grossen Bereich. Es schien deshalb von Interesse, den Einfluss der Temperatur auf die Flotationsresultate zu verfolgen. Wie die Tabelle 12 ergibt, steigen sowohl die Schwimmfähigkeit der Erzmineralien wie die der Gangart mit der Temperatur leicht an. Nach Petersen (Lit. 81, S. 135) verbessert eine gewisse Temperaturerhöhung allgemein die Ergebnisse bei der Schwimmaufbereitung, doch besteht ein Optimum der Temperatur, das je nach Mineralbestand und angewandtem Sammler verschieden hoch liegt und durch Versuche ermittelt werden muss.

Tabelle 12
Versuche mit Variation der Temperatur

| No. | Temperatur | Ausbringen in % | | | Zusammensetzung d. Konz. % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart |
| 1 | 13—16° | 79,4 | 83,2 | 28,1 | 20,6 | 64,8 | 14,6 |
| 2 | 30—25 | 80,5 | 89,4 | 30,7 | 19,6 | 65,3 | 15,1 |
| 3 | 46—40 | 87,7 | 92,7 | 35,8 | 20,0 | 63,5 | 16,5 |

Versuchsdaten: Einwage 5,000 ± 0,005 g; Sammler: 10 mg Xanthat; Zusammensetzung der Aufgabe wie unter Tabelle 10.

*Variation des Wassers der Schwimmtrübe*

Die bisherigen Versuche wurden stets mit destilliertem Wasser durchgeführt. Da in Işikdağ ein kalkhaltiges Wasser vorkommt, wurden vergleichende Versuche mit destilliertem Wasser und mit Leitungswasser von mittlerem Kalkgehalt angestellt, wobei letzteres eine leicht drückende Wirkung zeitigte (s. Tabelle 13).

Tabelle 13
Versuche mit Variation des Wassers der Trübe

| No. | Art des Wassers | Ausbringen in % | | | Zusammensetzg. d. Konz. % | | | Oxin mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | |
| 1 | destill. | 89,0 | 96,6 | 43,5 | 19,1 | 62,2 | 18,7 | 10 |
| 2 | Leitung | 83,4 | 86,2 | 23,7 | 21,3 | 66,4 | 12,3 | 10 |
| 3 | destill. | 87,4 | 97,1 | 14,3 | 21,4 | 71,5 | 7,1 | 5 |
| 4 | Leitung | 76,7 | 96,2 | 18,9 | 19,0 | 71,6 | 9,4 | 5 |

Versuchsdaten: Einwage bei 1 und 2: 1,000 ± 0,005 g, bei 3 und 4: 5,000 ± 0,005 g; Zusätze bei 3 und 4: 1 $cm^3$ 2n $H_2SO_4$ + 1 $cm^3$ Wasserglas; Zusammensetzung der Aufgaben wie unter Tabelle 10.

*Flotative Trennung der Pb-Zn-Mineralien von den Fe-As-Mineralien*

Die Praxis der Schwimmaufbereitung begnügt sich im allgemeinen nicht mit der blossen Trennung der Erzmineralien von der Gangart, sondern sucht die Erzarten einzeln (oder gruppenweise) in Form möglichst reiner Konzentrate zu gewinnen. Aus den nicht seltenen Komplexerzen mit Bleiglanz, Zinkblende und Eisenkiesen pflegt man beispielsweise durch aufeinanderfolgende Flotationsprozesse unter genau festgelegten Bedingungen ein Bleiglanz-, ein Zinkblende- und eventuell ein Pyritkonzentrat herzustellen (Lit. 81, S. 233 u. 235).

Tabelle 14
Versuche für die sortenweise Flotation

| No. | Ausbringen in % | | | Zusammensetzg. d. Konz. % | | | Zusätze |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | |
| a) | | | | | | | |
| 1 | 64,5 | 74,7 | 37,9 | 20,9 | 60,0 | 19,1 | 5 $cm^3$ Kalkwasser |
| 2 | 62,7 | 71,9 | 27,0 | 22,2 | 63,0 | 14,8 | 10 „ „ |
| 3 | 76,0 | 86,6 | 59,8 | 19,8 | 56,0 | 24,2 | 10 „ „ * |
| 4 | 38,9 | 23,8 | 14,8 | 32,2 | 48,8 | 19,0 | 25 „ „ |
| b) | | | | | | | |
| 5 | 72,2 | 94,2 | 24,4 | 37,0 | 55,0 | 8,0 | 1 $cm^3$ 2n $H_2SO_4$ + 5 mg $FeCl_3$ |
| 6 | 48,4 | 79,5 | 18,8 | 32,1 | 60,0 | 7,9 | 5 mg $FeCl_3$ + 2 $cm^3$ 0,1n NaOH |
| 7 | 58,2 | 85,8 | 26,7 | 33,6 | 56,5 | 9,9 | 1 Tropfen Eukalyptusöl |
| c) | | | | | | | |
| 8 | 53,7 | 69,0 | 11,8 | 24,4 | 63,1 | 12,5 | 1 mg $K_2Cr_2O_7$ |
| 9 | 73,2 | 86,4 | 32,4 | 25,4 | 55,1 | 19,5 | 5 mg $MgNH_4PO_4$ |
| 10 | 51,8 | 84,4 | 11,9 | 22,8 | 68,1 | 9,1 | 0,5 $cm^3$ $H_3PO_4$ |
| 11 | 60,3 | 85,7 | 22,0 | 23,7 | 61,4 | 14,9 | neutral phosphatiert |
| 12 | 58,8 | 97,7 | 52,0 | 16,2 | 55,1 | 28,7 | phosphatiert |
| 13 | 49,4 | 66,1 | 39,6 | 17,7 | 70,1 | 12,2 | mit KCN gelaugt |

*) 20 Minuten konditioniert.

Versuchsdaten: Einwage $5{,}000 \pm 0{,}005$ g; Sammlermenge je 5 mg Xanthat mit Ausnahme von Versuch No. 7, der ohne Sammler ausgeführt wurde.

| Zusammensetzung der Aufgabe | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart |
|---|---|---|---|
| Versuche unter a | 19,9 | 49,3 | 30,8 |
| Versuche unter b | 36,0 | 41,0 | 23,0 |
| Versuche 8 bis 12 | 21,9 | 40,2 | 37,9 |
| Versuch 13 | 20,7 | 61,4 | 17,9. |

Angesichts der ungewöhnlichen Zusammenstellung der Erze von Işikdağ schien es am Platze, durch einige wenige Versuche festzustellen, ob für diese Erze die eben erwähnte sortenweise Schwimmaufbereitung übernommen werden könnte, oder ob für ihre Trennung durch Flotation spezielle Methoden auszuarbeiten wären. Dabei beschränkten wir uns im wesentlichen auf das Ziel, die Pb-Zn-Mineralien von den Fe-As-Mineralien zu sondern, da der Erfolg dieser Trennung mit Hilfe der bereits mehrfach herangezogenen „abge-

kürzten" Analyse (s. S. 81) rasch, wenn auch nicht vollständig befriedigend verfolgt werden konnte.

Als regelnde Schwimmittel zum Drücken (Verhinderung des Aufschwimmens) von Pyrit und Arsenkies bei der Flotation von Bleiglanz oder Zinkblende dient allgemein Kalkwasser (Lit. 81, S. 228). Tabelle 14 enthält die Resultate einiger entsprechender Versuche. Wie eine Analyse des in konz. HCl löslichen Anteils des dazu verwendeten Pulvers ergab, deren Genauigkeit allerdings nicht sehr weit getrieben wurde, bestand die Fraktion der „Pb-Zn-Mineralien" aus etwa

63 % Yenerit 2 % Bleiglanz 35 % Zinkblende.

Erwartungsgemäss vergrösserte sich in den Konzentraten der Gehalt an Yenerit und vor allem an Bleiglanz auf Kosten der Zinkblende. So ergab die Analyse des Anteils der „Pb-Zn-Mineralien" im Konzentrat von Versuch Nr. 2 eine Zusammensetzung von ungefähr

72 % Yenerit 5 % Bleiglanz 23 % Zinkblende.

Die Zinkblende pflegt je nach Zusammenhang verschieden gut zu flotieren und muss meist durch Zusatz von Kupfersalzen zur „Trübe" „aktiviert" werden, um gute Ausbeuten zu ergeben (Lit. 81, S. 209 sowie Lit. 70, S. 312 ff.). Wie Versuch Nr. 4 zeigt, wird aber bei Zusatz einer zum Drücken der Kiese ausreichenden Menge von Kalkwasser nicht nur die Zinkblende, sondern auch der Yenerit stark gedrückt, so dass es schwierig sein dürfte, ihn mit den für Bleiglanz ausgearbeiteten Methoden in genügender Ausbeute und Reinheit zu gewinnen.

Versuche mit anderen, regelnden Schwimmitteln ergaben keine günstigeren Resultate:

Petersen erwähnt das Drücken von Arsenkies durch Oxydation mit Hilfe von $FeCl_3$ (Lit. 81, S. 235 — nach Mining und Metallurgy *13,* 162, 1932). Die Versuche 5 und 6 lassen keinen derartigen Einfluss erkennen, vielleicht infolge unrichtiger Wahl der Versuchsbedingungen (die Originalliteratur konnte nicht beschafft werden).

Die Trennung von goldhaltigem Pyrit und Arsenkies von Antimonit in Westaustralien gelingt durch anfängliches Herausschwemmen des letzteren mit 30 g/t Eukalyptusöl ohne Drücker für die Kiese (Lit. 81, S. 235). Ein entsprechender Versuch mit dem vorliegenden Erz (im Hinblick auf den Antimongehalt des Yenerits durchgeführt) ergab beinahe das umgekehrte Resultat: die Kiese schwammen bevorzugt.

Die unter c der Tabelle 14 angeführten Versuche hatten zum Ziel, die Kiese zuerst zu flotieren, unter Zusatz von Dichromat- oder

Phosphationen, zum Drücken der Pb-Zn-Mineralien. In den Versuchen 8—10 erfolgte die Konditionierung mit den Zusätzen in der üblichen Weise (s. S. 88). In den Versuchen 11 und 12 wurde das Pulver „phosphatiert", d. h. 2—3 Stunden mit neutralisierter 20%iger $H_3PO_4$ bzw. stark verdünnter $H_3PO_4$ behandelt, gewaschen und getrocknet. Dies geschah auf die Feststellung von H. Kam (Lit. 76, S. 28) hin, dass bei einer analogen Phosphatierung mit 20%iger $H_3PO_4$ das Ausbringen oxydischer Eisenerze beträchtlich erhöht wird. Tatsächlich ergab auch der Versuch 12 die stärkste Differenz im Ausbringen zwischen den beiden Erzmineralgruppen, ohne jedoch Aussicht auf eine befriedigende Trennung zu eröffnen.

Versuch 13 wurde an einer Probe durchgeführt, die zwecks Gold- und Silbergewinnung mit Cyanidlauge behandelt worden war. Die Erzmineralien haben an Schwimmfähigkeit eingebüsst, ohne dass sich eine wesentliche Differenziation eingestellt hätte.

Zusammenfassend ist zu den Versuchen über die sortenweise Schwimmaufbereitung der Erze von Işikdağ zu sagen, dass eine befriedigende Lösung nicht gefunden wurde, auch nicht andeutungsweise. Immerhin zeigen insbesondere die Versuche 4 und 12 der Tabelle 14, das eine beträchtliche Divergenz in der Schwimmfähigkeit der verschiedenen Erzmineralien prinzipiell erreichbar ist, sodass die Möglichkeit einer Aufbereitung auf diesem Wege nicht von der Hand zu weisen ist.

## MAGNETISCHE AUFBEREITUNG

Die Tatsache, dass Pyrit und Arsenkies beim Rösten in hochmagnetische Stoffe übergehen (Magnetkies bzw. Magnetit je nach Röstbedingungen), dient seit langem dazu, diese Erze auf magnetischem Wege von unmagnetischen Mineralien zu trennen. Angesichts der völligen oder teilweisen Undurchführbarkeit anderer Methoden lag es daher nahe, für die Erze von Işikdağ die Aufbereitung durch Magnetscheidung in Betracht zu ziehen und einige Versuche in dieser Richtung anzustellen.

Wir bedienten uns dazu eines Elektromagneten variabler Stärke, wie er bei Holmes (Lit. 73, S. 89) beschrieben ist, und arbeiteten im wesentlichen nach der dort angegebenen Weise.

Das für die Versuche verwendete Erzpulver war auf unter 0,1 mm Korngrösse zerkleinert und enthielt entsprechend der leichten Pulverisierbarkeit sehr viel feine Anteile. Nach Holmes ist die Anwesenheit feiner Partikel unerwünscht, weil diese durch die grösseren Körner mitgerissen werden und so eine saubere Trennung verunmög-

lichen. Da es aber für den vorliegenden Zweck darauf ankam, unter praktisch erreichbaren Bedingungen zu arbeiten, wurde auf das Absieben der feinen Partikel, das einen zu grossen Anteil des Erzes der Verarbeitung entzogen hätte, bewusst verzichtet. Die durch Mitreissen entstehenden Fehler wurden durch mehrfache Wiederholung der Trennung niedrig zu halten versucht; ihr tatsächliches Ausmass lässt sich schwer abschätzen.

Die Analyse des Versuchspulvers ergab einen Gehalt von

21,5 % Fe 9,5 % Zn

und eine mineralische Zusammensetzung von ungefähr

18 % Yenerit + Bleiglanz 38 % Arsenkies + Pyrit
14 % Zinkblende 30 % Gangart.

Zunächst wurde eine Probe von ca. 3 g des ungerösteten Erzes der Magnetscheidung unterworfen, wobei drei Fraktionen verschiedener Magnetisierbarkeit gewonnen wurden. Dies erfolgte vor allem, um das magnetische Verhalten der Zinkblende festzustellen, das von ihrem Eisengehalt abhängig ist (Lit. 80, $II_1$, S. 691). Wie die folgenden Resultate zeigen, verteilt sich die Zinkblende prozentuell ziemlich gleichmässig auf die drei Fraktionen, ist also unmagnetisch oder sehr schwach magnetisch. Dies steht im Einklang mit der mikroskopischen Untersuchung.

Fraktion I: unmagnetisch
Gewicht 1,457 g = 50 % der Einwage
Zusammensetzung: 19,6 % Fe 9,0 % Zn 29,6 % Gangart.

Fraktion II: sehr schwach magnetisch
Gewicht: 1,185 g = 42 % der Einwage
Zusammensetzung: 21,6 % Fe 9,1 % Zn 30,1 % Gangart.

Fraktion III: schwach magnetisch
Gewicht: 0,233 g = 8 % der Einwage
Zusammensetzung: 33,6 % Fe 9,5 % Zn 28,9 % Gangart.

Theoretisch wäre zu erwarten, dass alle vorliegenden Mineralien ausser vielleicht eines Teils der Zinkblende sich unmagnetisch zeigen würden (Lit. 80). Der teilweise vorhandene sehr schwache bis schwache Magnetismus dürfte auf Spuren magnetisierbarer Fe-Verbindungen in vielen Körnern zurückzuführen sein (zersetzter Pyrit und Arsenkies, Magnetkies o. ä.).

Hierauf wurden zwei Proben von je 3 g in einer offenen, gasgeheizten Muffel je zwei Stunden bei 450° bzw. 550° geröstet, entsprechend den Angaben der Literatur über die erforderlichen Rösttemperaturen (Lit. 80, $II_2$, S. 11 und Lit. 85, S. 176). Der Röst-

verlust betrug hierbei 3,7 % bzw. 13 %; die Röstung war also im ersten Fall sehr unvollständig, im zweiten ziemlich abgeschlossen (vgl. S. 106). Die Versuche zur magnetischen Separation ergaben bei beiden das Resultat, dass die Pulver durchgehend hochmagnetisch (ferromagnetisch) geworden waren: sie wurden bereits durch einen gewöhnlichen Hufeisenmagneten auf Distanz angezogen, wobei lediglich das weniger hoch erhitzte Pulver einen unbedeutenden Bruchteil schwächer magnetischer Substanz zurückliess.

Dieses Resultat macht die Annahme wahrscheinlich, dass sich bei den genannten Temperaturen zwischen den verschiedenartigen Körnern Reaktionen im festen Zustand abspielen, die infolge der teilweise sehr grossen Feinheit der Körner erhebliche Umsetzungsbeiträge erreichen können und zur Bildung hochmagnetischer Produkte wie Zink- und Bleiferriten führen. Bei einem Teil der Körner mögen auch die Fe-haltigen Verunreinigungen, durch das Rösten hochmagnetisch geworden, für das Haften am Magneten verantwortlich sein. Auf alle Fälle sind die Rösttemperaturen hoch genug, um das Eintreten von Reaktionen im festen Zustand zu ermöglichen (Lit. 71), und es konnte auch ein leichtes Zusammenbacken der gerösteten Pulver festgestellt werden, was für stattgehabte Umsetzungen spricht. Nach Tammann (Lit. 71, S. 81) liegt die Temperatur beginnender Reaktion und Zusammenbackung für Metalle bei etwa 0,33 $T_s$, wobei $T_s$ die absolute Schmelztemperatur bedeutet. Nach O. R. Grawe (Lit. 67) ist der Schmelzpunkt für Jamesonit 882°, also verhältnismässig sehr tief. Unter der Voraussetzung, dass die unbekannte Schmelztemperatur des Yenerits ebenfalls bei dieser Grössenordnung liegt, ist es also möglich, dass Gemische mit Yenerit als Komponente bei besonders niedrigen Temperaturen zu Umsetzungen neigen.

Für den letzten Versuch wurde eine Probe von 2 g eine Stunde bei 350—390° geröstet. Ein Gewichtsverlust liess sich hierbei nicht feststellen. Trotzdem trat aber eine starke Veränderung in den magnetischen Eigenschaften gegenüber dem ungerösteten Erz ein. Mit einer Stromstärke, die nur halb so gross war, wie die für die Isolierung der stärkstmagnetischen Fraktion III des ungerösteten Erzes erforderliche, konnte das Röstpulver in einen magnetischen und einen unmagnetischen Anteil getrennt werden:

Fraktion I: unmagnetisch

Gewicht: 1,193 g = 61 % der Einwage

Zusammensetzung: 12,7 % Fe 16,5 % Zn 29,8 % Gangart.

Fraktion II: magnetisch

Gewicht: 0,751 g = 39 % der Einwage

Zusammensetzung: 26,2 % Fe 2,6 % Zn 28,5 % Gangart.

Es findet also eine ziemlich ausgeprägte Anreicherung des Eisens in der magnetischen, des Zinks in der unmagnetischen Fraktion statt. Die Gangart und die Pb-Sb-Mineralien verteilen sich dagegen prozentuell ziemlich gleichmässig auf die Fraktionen. Von einer tatsächlichen Trennung der eisenhaltigen Erzmineralien von den übrigen kann also nicht die Rede sein. Die Gründe hierfür dürften ähnliche sein wie die vorstehend herangezogenen.

Weitere Versuche unter anderen Röstbedingungen wurden nicht unternommen, denn die erhaltenen, vollständig negativen Resultate lassen voraussehen, dass keine Temperatur existiert, die für ein magnetisierendes Rösten ausreicht ohne gleichzeitig Reaktionen zwischen den Mineralkörnern zu veranlassen. Für derart feinverwachsene Erze, wie sie in Işikdağ vorliegen, kommt demnach eine Aufbereitung durch die Magnetscheidung nicht in Frage.

## CHEMISCHE AUFBEREITUNG

### Rösten des Erzes

Verschiedene feinpulverisierte (unter 0,1 mm) Erzproben wurden in einem gasgeheizten Mufelofen unter gelegentlichem Rühren und unter Luftzutritt langsam bis 700° erhitzt. Der Gewichtsverlust dieser Proben variierte je nach der Zusammensetzung in folgender Weise:

| | Zusammensetzung in % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Pb-Zn-Min. | Fe-As-Min. | Gangart | Röstverlust |
| Probe I | 21,9 | 40,2 | 37,9 | 12 % |
| Probe II | 22,9 | 52,7 | 24,4 | 14,5% |
| Probe III | 20,7 | 61,4 | 17,9 | 20 % |

Nach J. Du Bois (Lit. 65, S. 98) kann man das Arsen aus dem Arsenkies der Erze von Astano (Tessin) durch Rösten bei 300° als $As_2O_3$ gewinnen. Analoge Versuche an den Erzen von Işikdağ ergaben ein anderes Resultat: das Arsenik entwich erst gegen 500°; bei dieser Temperatur traten aber auch S-Dämpfe und $SO_2$ auf.

Anlässlich von analytischen Versuchen an dem bei 700° gerösteten Erzpulver zeigte sich sogar, dass es noch nennenswerte Mengen von Arsen enthielt. Es scheint demnach, dass der Arsenkies unter Umständen der durchgehenden Oxydation Schwierigkeiten entgegenstellt.

## Gold- und Silbergewinnung

### *Die Bestimmung des Edelmetallgehaltes*

Nach den Analysen, welche T. Hiller (Lit. 72) angibt, enthalten Erzproben von Işikdağ folgende Gold- und Silbermengen:

| Probe | Au-Gehalt/t | Ag-Gehalt/t |
|---|---|---|
| V. K. 46 | 9 g | 234 g |
| E. G. 104 | 8 g | 149 g |
| E. G. 105 | 3,5 g | 206 g |

Eigene Bestimmungen, welche als Tiegel- sowie als Ansiedeproben an den gerösteten Erzpulvern durchgeführt wurden, ergaben ziemlich ähnliche Resultate:

| Probe | Au-Gehalt/t | Ag-Gehalt/t |
|---|---|---|
| II | 11 g | 240 g |
| III | 7 g | 343 g |

Für die Tiegelproben diente der folgende Ansatz:
30 g Erz + 60 g PbO + 20 g $NaHCO_3$ + 10 g Borax + 4 g Weinstein + 1 cm NaCl-Decke;

für die Ansiedeproben: 7 g Erz + 40 g Blei + 3 g Borax.

### *Die Gewinnung der Edelmetalle durch das Cyanidverfahren*

Was die praktische Gold- und Silbergewinnung anbetrifft, so kann das Cyanidverfahren als die wichtigste Methode der Gewinnung dieser Metalle bezeichnet werden (Lit. 79, S. 15). Es beruht auf der Tatsache, dass sehr verdünnte Lösungen von Alkalicyaniden die Edelmetalle aus den Erzen herauslösen. Nach K. Nugel (Lit. 79, S. 25) ist man jetzt fast überall von der vorhergehenden Röstung abgekommen und laugt direkt mit längerer Laugedauer. Deshalb wurde ein Teil der Probe III ohne zu Rösten einer Cyanidlaugerei unterworfen.

Die Aziditätsbestimmung an 100 g der Probe ergab, dass zur Neutralisation der von dem Erz in Wasser abgegebenen H-Ionen theoretisch

12 g NaOH oder 12,8 g $Ca(OH)_2$

pro Tonne Erz erforderlich sind.

Die zur Neutralisation nötige Menge von Kalk ist relativ gering; dies zeigt, dass die Erze von Işikdağ sehr frisch, d. h. nicht oxydiert sind. Dies steht im Einklang mit der erzmikroskopischen Untersuchung.

Die Laugerei wurde in folgender Weise durchgeführt:

75 g Erz wurden in einer Waschflasche mit 200 $cm^3$ 1%iger KCN-Lösung gemischt, die zur Neutralisation nötige Menge NaOH zugegeben und mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe ein Luftstrom durch

die Suspension gesaugt. (Die eintretende Luft passierte zuerst eine NaOH enthaltende Waschflasche, um von der Hauptmenge der Kohlensäure befreit zu werden.) Nach drei Tagen wurde der Versuch abgebrochen und die verbrauchte Menge KCN durch Titration eines aliquoten Teiles der filtrierten Lösung mit 0,1 n $AgNO^3$ bestimmt. Der Verbrauch an KCN betrug:

13,466 kg/t Erz.

Im restlichen Teil der Lösung wurden das Gold und das Silber mit Zink niedergeschlagen, gewogen und mit $HNO_3$ getrennt. Es ergaben sich folgende Resultate:

| | ausgelaugte Menge | Gehalt | Anreicherung |
|---|---|---|---|
| Au | 9 g/t | 11 g/t | 82 % |
| Ag | 54 g/t | 240 g/t | 23 % |

Die Ausbeute des Goldes ist demnach befriedigend; die des Silbers jedoch nicht. Wir hatten angenommen, dass das Silber sich im Yenerit befindet. Die Unmöglichkeit seiner praktischen Gewinnung durch das Cyanidverfahren dürfte damit zusammenhängen.

## Zusammenfassung

Die Goldlagerstätte von Işikdağ liegt in oberkretazischen, kalkig bis sandig-tonigen Sedimenten (Gosau-Typus), welche ein Fenster im nördlichen Teil des riesigen galatischen Andesitkomplexes bilden.

Die im Gebiete von Işikdağ vorkommenden Ergüsse bestehen besonders aus intermediären bis basischen (Andesite, hybride Andesite, Basalte, Olivinbasalte), in geringem Masse aus sauren Gesteinen (Biotitdazite bis Hornblendebiotitdazite, Vitrophyre). Die Eruptionen haben vom Eocän bis Pliocän stattgefunden. Zwischen den Ergussgesteinen und der Erzlagerstätte ist keine direkte Verbindung zu beobachten. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Vererzung mit dem magmatischen Herd der andesitischen Gesteine im Zusammenhang steht. Die Zufuhr erstreckte sich vom pneumatolytischen bis in den späthydrothermalen Bereich.

Im Erzgebiet kulminieren die Kreideschichten in einer Kuppel. Das Alter der Faltung ist prätertiär. Nach der Faltung wurde die Kuppel durch zahlreiche Verwerfungen in einzelne Schollen zerlegt; die Erzbringer haben als Aufstiegswege diese Bruchflächen benützt.

Das Erzvorkommen von Işikdağ bildet einen Übergang zwischen hypoabyssischen und subvulkanischen und findet sich in Sedimenten als metasomatische (Gangart vorwiegend Kalkspat) und imprägnationsartige (Gangart Quarz und Turmalin) Bildungen. Als Erzmineralien treten auf (s. Successionsfolge der Mineralien, Tabelle 5, S. 79):

Arsenkies, Yenerit, Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies und Spuren von Zinnstein; als Gangartmineralien:

Quarz, Kalkspat, Turmalin, sehr wenig Baryt und Parankerit, Spuren von Apatit und Epidot-Zoisit.

Besondere Erwähnung verdienen Yenerit und Turmalin.

Yenerit ist ein neuer Vertreter der Bleispiessglanze mit der Formel $11\,PbS, 4\,Sb_2S_3$. Er findet sich sowohl derb als in Form von sehr feinen Nadeln und ist grauschwarz. Seine Härte beträgt 2—2½, sein spezifisches Gewicht 6,05 (die Projektion dieses Wertes auf der entworfenen Kurve der spezifischen Gewichte der Bleispiessglanze kommt zwischen diejenigen von Boulangerit und Falkmanit zu liegen; es scheint, dass diese Kurve ein bequemes Hilfsmittel zur Bestimmung von Pb-Sb-Sulfosalzen darstellen kann).

Unter dem Mikroskop hat der Yenerit verglichen mit dem Bleiglanz einen charakteristischen grünlichen Ton. Er zeigt in Öl deutlichen Pleochroismus und starke Anisotropie. Manchmal treten lamellare Zwillinge auf. Die Ausscheidung von Yenerit erfolgte in der hydrothermalen Phase.

Turmalin tritt in einer ganz aussergewöhnlichen Form auf. Er hat ein erdiges Aussehen, ist weisslich und mit dem Fingernagel schabbar. Sein spezifisches Gewicht beträgt 3,135. Unter dem Mikroskop erscheint er in Form von unregelmässig begrenzten, filzigen Aggregaten, die zum grössten Teil aus kleinen Schüppchen, weniger häufig aus innig verwachsenen feinen Fäserchen gebildet werden. Die Brechungsindizes für die D-Linie betragen $n_\alpha = 1{,}620$, $n_\gamma = 1{,}642$. Die Formel des filzigen Turmalins lautet

$$(Na, K)_2Ca(Fe, Mn)Mg_6Al_{20}Si_{18}B_9O_{81}(OH)_{12}.$$

Die Borsäure zur Bildung dieses Turmalins wurde namentlich von den tonigen Meeressedimenten geliefert.

## Aufbereitung

Die mikroskopisch festgestellte, extrem feine Verwachsung der Erze von Işikdağ wurde durch eine Siebanalyse gepulverten Materials zahlenmässig festgelegt und als obere Grenzgrösse reiner Mineralkörner etwa 0,1 mm gefunden. Die daraus gefolgerte Unmöglichkeit der Aufbereitung mittels rein physikalischer Methoden spiegelt sich in den negativen Resultaten von Versuchen zur Aufbereitung durch Schlämmen oder durch Magnetscheidung.

Dagegen zeigten Versuche zur Aufbereitung mittels Flotation, dass eine Trennung der Erze von den Gangarten auf diesem, physi-

kalisch-chemischen Weg möglich ist. Für die selektive Trennung der Erzmineralien von einander konnte keine befriedigende Flotationsmethode gefunden werden. Die Anwesenheit von Yenerit bildet ein Hindernis für die Anwendung der üblichen Methoden der Schwimmaufbereitung der Blei-Zink-Erze.

Abschliessend wurde die Möglichkeit der Gold-Silber-Gewinnung mit Hilfe des Cyanidlaugeverfahrens untersucht, wobei für Gold ein gutes Ausbringen resultierte, nicht dagegen für Silber.

## Literaturverzeichnis


1. F. Angel, Aus der Gesteinswelt Anatoliens. N. Jb. Min., Abt. A, B. B. 62 (1931), 57—162.
2. P. Arni, Relations entre la structure régionale et les gisements minéraux et pétrolifères d'Anatolie. M. T. A. (1939), 29—36.
3. S. Atabek, Işikdağ kurşun ve antimuan madeni hakkinda rapor. Arch. M. T. A. 1937.
4. O. Bayramgil, Basalt von Seç. M. T. A. 1/29 (1943), 145—149.
5. L. G. Berry, Studies of mineral sulpho-salts: III. Boulangerite and „Epiboulangerite". Univ. Toronto Stud., Geol. Ser. 44 (1940), 5—19.
6. M. Blumenthal, Croquis géologique de la chaîne de l'Işikdağ. Arch. M. T. A. 1940.
7. — Géologie des montagnes de la transversale d'Eskipazar et leurs sources minérales (Vilayet de Çankiri). M. T. A. 3/24 (1941), 335—352; 4/25 (1941), 571—593.
8. M. J. Buerger and W. Parrish, The unit cell and space group of tourmaline. Amer. Miner. 22 (1937), 1139—1150.
9. E. Chaput, Voyages d'études géologiques et géomorphogéniques en Turquie. Paris 1936.
10. K. Chudoba, Mikroskopische Charakteristik der gesteinsbildenden Mineralien. Freiburg im Br. 1932.
11. H. C. Cooke, An unusual hypersthene from Lake Athabaska, Saskatchevan. Univ. Toronto Stud., Geol. Ser. Nr. 40, Contr. Canad. Miner. 1936—1937, 67—69.
12. L. Déverin, Sur la tourmaline authigène dans les roches sédimentaires. Act. Soc. Helv. Sc. nat. Zurich 1934, 327—328.
13. E. Dittler, Gesteinsanalytisches Praktikum. Berlin und Leipzig 1933.
14. M. Dittrich, Gesteinsanalyse. Leipzig 1905.
15. R. Egemen, Güvem-Kizilcahaman civarinda toplanip tetkik ve tayin edilen nebatî fosiller. Arch. M. T. A. 1940.
16. W. Fackert, Beiträge zur Mikrographie des natürlichen und des künstlichen Bleiglanzes. Diss. Freiburg im Br. 1929.
17. W. Fischbach, La mine de plomb et d'antimoine Maden près d'Ankara. Arch. M. T. A. 1900.
18. F. Frech, Der Vulkanismus Kleinasiens und sein Verhältnis zu dem Gebirgsbau. Peterm. Mitt. 60 (1914), 165—173, 212—216, 270—278.

19. P. Gabór, A Csucsomi ercelöfordulas mikroszkopi ès genetikai viszgalata. Matem. ès termeszettudomanyi értesitö A. M. Tud. Akad. III, 59 (1940), 671—700.
20. V. M. Goldschmidt und Cl. Peters, Zur Geochemie des Bors. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen B. 4, 27 und 31 (1932), 402—407, 528—545.
21. E. Gübelin, Die Mineralien im Dolomit von Campolungo (Tessin). Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 19 (1939), 325—443.
22. M. Henglein, Boulangerit in C. Dölter's Handbuch der Mineralchemie IV$^1$ (1926), 442—447.
23. J.-E. Hiller, Röntgenographische Bestimmungsmethoden und Untersuchung der Bleispiessglanze. Z. Kristallogr. 100 (1938), 128—156.
24. — und W. Hofmann, Nachtrag zu der Arbeit von J.-E. Hiller: Röntgenographische Bestimmungsmethoden und Untersuchung der Bleispiessglanze. Z. Kristallogr. 102 (1939), 143—144.
25. J. Jakob, Analysen dreier Tessiner Turmaline. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 17 (1937), 146—148.
26. V. Kovenko, Courte note sur la visite d'Işikdağ. Arch. M. T. A. 1941.
27. — Note sur la visite de la mine d'Işikdağ. Arch. M. T. A. 1942.
28. — Les mines de plomb argentifère de Gümüşhane. M. T. A. 3/24 (1941), 291—310.
29. R. Leonhard, Geologische Skizze des galatischen Andesitgebietes nördlich von Ankara. N. Jb. Min. B. B. 16 (1903), 99—109.
30. — Paphlagonia. Reisen und Forschungen im nördlichen Kleinasien. Berlin 1915.
31. W. Lindgren, Mineral Deposits. New York and London 1933.
32. F. Machatschki, Die Formeleinheit des Turmalins. Z. Kristallogr. 70 (1929), 211—233.
33. — Zu P. Nigglis Turmalinformel in seiner Arbeit „Stereochemie der Kristallverbindungen III". Z. Kristallogr. 76 (1931), 475—476.
34. C. Messina, I minerali di boro del granito di Baveno. Atti Soc. Ital. Sc. Nat. Museo civico Storia Nat. Milano 79 (1941), 31—47.
35. L. Milch, Die Ergussgesteine des galatischen Andesitgebietes. N. Jb. Min. B. B. 16 (1903), 110—165.
36. F. Müllbauer, Dolomit in C. Hintze Mineralogie 1$^{3\cdot I}$, 3251—3350.
37. J. Murdoch, Microscopical determination of the opaque minerals. New York 1916.
38. P. Niggli, Tabellen zur allgemeinen und speziellen Mineralogie. Berlin 1927.
39. W. Nikitin, Die Fedorow-Methode. Berlin 1936.
40. E. Nowack, Eine Reise von Ankara zum schwarzen Meer. Z. Ges. Naturkunde Berlin 1928, 414—426.
41. — Die wichtigsten Ergebnisse meiner anatolischen Reisen. Z. dsch. geol. Ges. 1/2 (1928), 304—312.
42. — Kreideentwicklung und Grosstektonik in Nordanatolien. Zbl. Min., Abt. B, 1932, 286—299.
43. J. Orcel et G. R. Plaza, Etude microscopique de quelques minerais métalliques du Pérou. Bull. Soc. franç. Minéral. 51 (1928), 213—246.
44. Ch. Palache and H. Berman, Boulangerite. Amer. Mineral. 27 (1942), 552—562.

45. M. A. Peacock and L. G. Berry, Röntgenographic observations on ore minerals. Univ. Toronto Stud., Geol. Ser. 44 (1940), 47—69.
46. A. Philippson, Kleinasien. Handbuch der regionalen Geologie, B. 5, Abt. 2, Heidelberg 1918.
47. P. Ramdohr, Fortschritte auf dem Gebiet der Lagerstättenkunde. Fortschr. Min. 22 (1937), 105—184.
48. — und O. Oedman, Falkmanit, ein neues Bleispiessglanzerz, und sein Vorkommen, besonders in Boliden und Grube Bayerland. N. Jb. Min. 75 (1939), 315—350.
49. M. Reinhard, Universal-Drehtischmethoden. Basel 1931.
50. A. Rittmann und O. Grütter, Tabellen zur Bestimmung von Mineralien. Basel 1939 (Manuskript).
51. W. Salomon-Calvi, Kurze Übersicht über den tektonischen Bau Anatoliens. M. T. A. 1/18 (1939), 35—74.
52. H. Schneiderhöhn, Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde B. 1, Jena 1941.
53. — Entmischungserscheinungen innerhalb von Erzmischkristallen und ihre Bedeutung für Lagerstättenkunde und Aufbereitung. Metall u. Erz 19 (1922), 501—508 u. 517—526.
54. — Mineralchemische und mikroskopische Beobachtungen an Blei-Zink- und Kieserzen der Deutsch-Bleischarley-Grube, Oberschlesien. Chem. Erde 5 (1930), 385—395.
55. — und P. Ramdohr, Lehrbuch der Erzmikroskopie, B. 2, Berlin 1931.
56. A. Schröder, Datensammlung der Mineralien aus der türkischen Republik. M. T. A. 2/23 (1941), 214—221.
57. F. Seemann, Ergebnisse einer naturwissenschaftlichen Reise zum Erciyeşdağ (Kleinasien). III. Petrographischer Teil. Ann. k. k. Naturhistor. Hofmuseums 21 (1907), 157—178.
58. F. Spänhauer, Über das Ergebnis von Messungen an synthetischen Plagioklasen mit Hilfe des Universaldrehtisches. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12 (1933), 356—365.
59. V. Tschepinsky, Contribution à l'étude de la faune crétacée de la Turquie. Public. M. T. A., Série B, No. 7, Ankara 1942.
60. R. W. van der Veen, Mineragraphy and ore deposition. The Hague 1925, B. 1.
61. A. N. Winchell, Elements of Optical Mineralogy II. New York and London 1933.
62. K. G. J. Ziegler, Bericht über Işikdağ Maden. Arch. M. T. A. 1941.
63. — Çankiri vilayeti kromit zuhurati hakkinda mücmel rapor ve Işikdağ maden yataklarinin kisaca izahi. Arch. M. T. A., 1940.

**Literaturverzeichnis betreffend das „Kapitel über Aufbereitungsversuche"**

64. E. Briquet, Etude comparative des différents appareils „élutriateurs" en vue de la séparation des sables, silts et schlamm constitutifs des terrains meubles. Arch. Sc. phys. nat., Per. 5, vol. 12, Genève 1930.
65. J. Du Bois, Rapport sur les gisements de mispickel aurifère d'Astano (Canton du Tessin). Mat. Géol. Suisse, Série géotechn. XV, 1930.
66. H. Gessner, Die Schlämmanalyse. Kolloidforschung in Einzeldarstellungen, B. 10, Leizig 1931.

67. O. R. Grawe, Mineral Thermometer. School of Mines and Metallurgy, Univ. Missouri, Bull. june 1937.
68. O. Hackl, Die Fluorbestimmung in Silikatgesteinen, anwendbar auch auf Wässer usw. Z. analyt. Chem. 97 (1934), 254—258.
69. — Untersuchungen über verschiedene Methoden zur Fluor-Bestimmung in Silikatgesteinen. Z. analyt. Chem. 116 (1939), 92—101.
70. H. Havre, Concentration des minerais par Flotation. Paris et Liège 1938.
71. J. A. Hedvall, Reaktionsfähigkeit fester Stoffe. Leipzig 1938.
72. T. Hiller, Erz von Işikdağ. Analysen und Verteilung des Edelmetallgehaltes. Arch. M. T. A. 1940.
73. A. Holmes, Petrographic methods and calculations. London 1921.
74. Landolt-Börnstein, W. A. Roth, K. Scheel, Physikalisch-chemische Tabellen. 5. Aufl., Ergänz. B. III, Teil I, S. 521.
75. C. W. Leaf and A. Knoll, Laboratory Flotation Cell. Ind. Eng. Chem., Analyt. Edit. 11 (1939), 510—511.
76. H. Kam, Flotationsversuche an oxydischen Eisen-, Chrom- und Aluminiumverbindungen mit 8-Oxychinolin als Sammler. Diss. Basel, 1943.
77. Ch. E. Mosmann, L'action de divers collecteurs et électrolytes sur le flottage des minéraux oxydés métalliques et non métalliques. Thèse Genève, 1942.
78. J. Newton und A. C. Ipsen, Engg. Min. J. 42 (1938), 129. Ref. in Metall und Erz 35 (1938), 450.
79. K. Nugel, Gold, in F. Ullmann, Enzykl. der techn. Chem., B. 6, 1—51, Berlin und Wien 1930.
80. F. Peters und H. Grossmann, O. Dammer's Chemische Technologie der Neuzeit. Magnetische Aufbereitung, $2_1$, 690—727. Rösten der Eisenerze, $2_2$, 10—12. Stuttgart 1932.
81. W. Petersen, Schwimmaufbereitung. Dresden und Leipzig 1936.
82. H. Schäfer und A. Sieverts, Beiträge zur massanalytischen Bestimmung der Borsäure. Z. analyt. Chem. 121 (1941), 161—183.
83. J. v. Steiger, Flotationsversuche an oxydischen Verbindungen unter hauptsächlicher Verwendung von 8-Oxychinolin als Sammler. Diss. Basel, 1942.
84. — und O. Bayramgil, Über Flotationsversuche an sulfidischen Erzen mit 8-Oxychinolin als Sammler. Helv. Chim. Acta 26 (1943), 112—116.
85. G. J. Young, Experiments in Magnetizing Roasting. Engg. Min. J. 108 (1919), 176.

Schweiz. Min. Petr. Mitt.
Bd. XXV, Heft 1, 1945

# TAFEL I

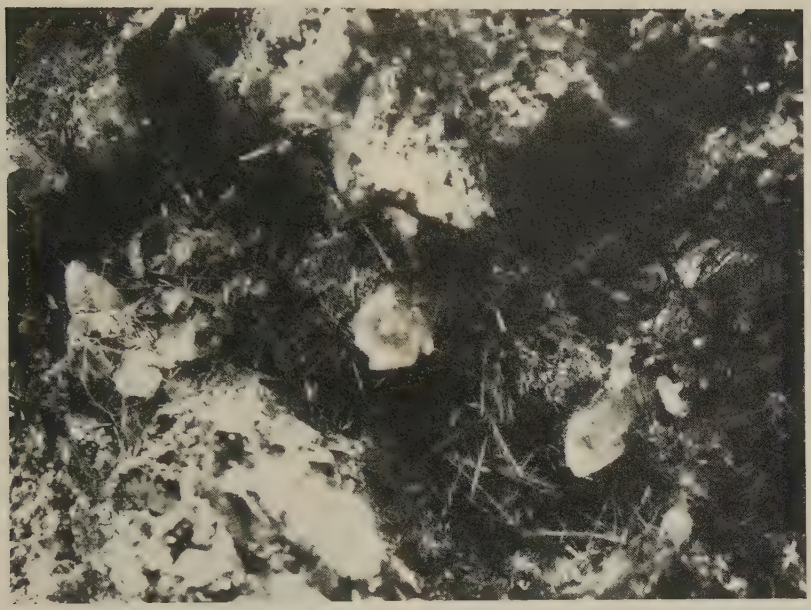


Abb. 1

Abb. 2

# TAFEL II

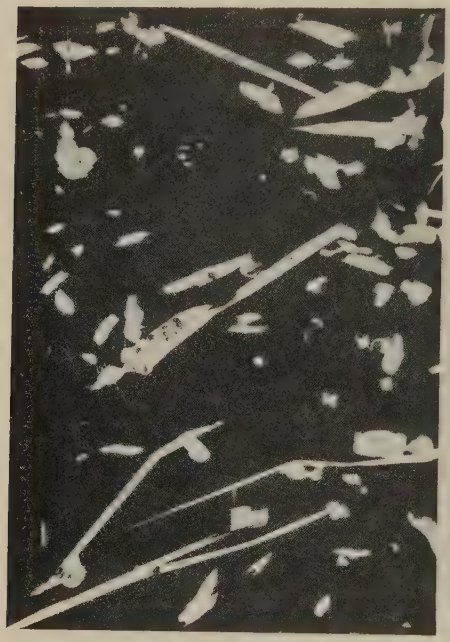


Abb. 3

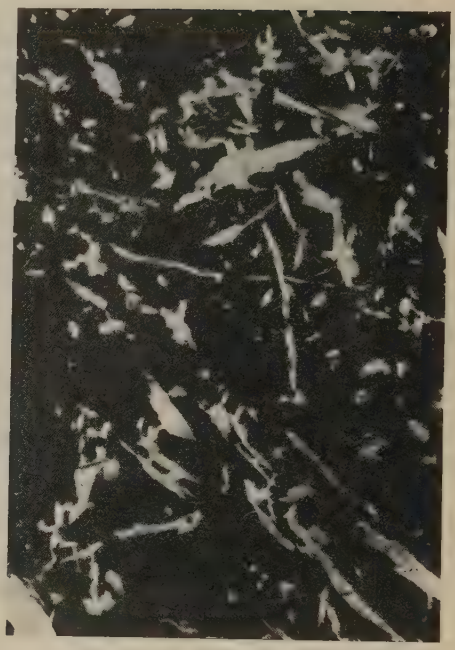


Abb. 4

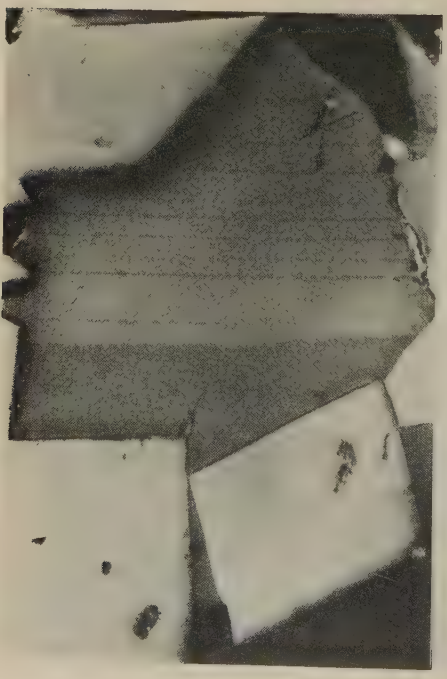


Abb. 5

Abb. 6

Schweiz. Min. Petr. Mitt.
Bd. XXV, Heft 1, 1945

# TAFEL III

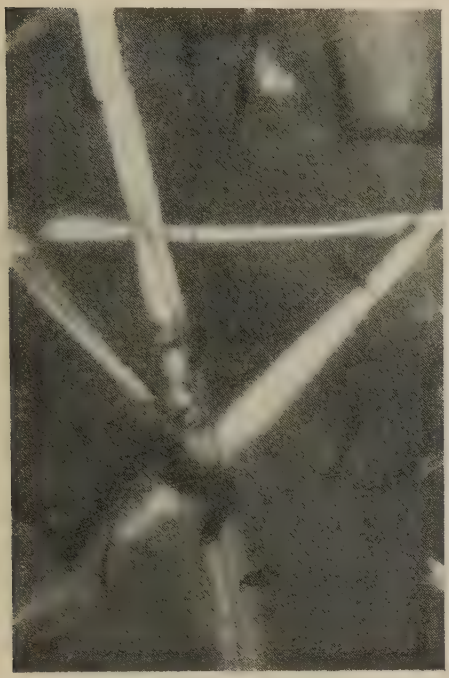


Abb. 7

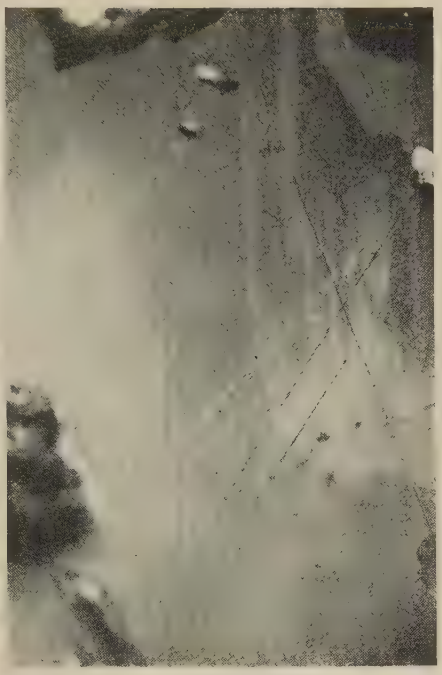


Abb. 8

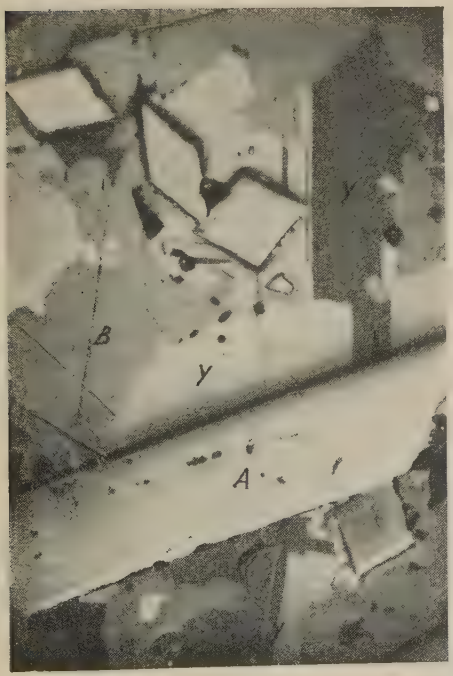



Abb. 9

Abb. 10

# TAFEL IV

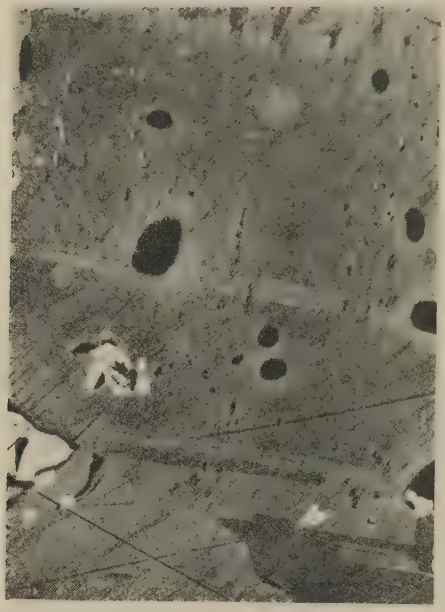


Abb. 11

Abb. 12

Abb. 13

Abb. 14

Schweiz. Min. Petr. Mitt.
Bd. XXV. Heft 1, 1945

# TAFEL V

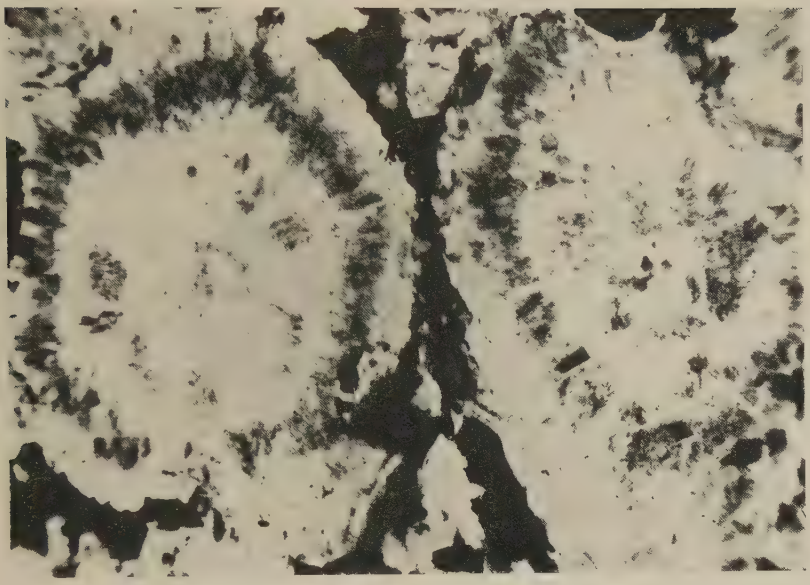


Abb. 15

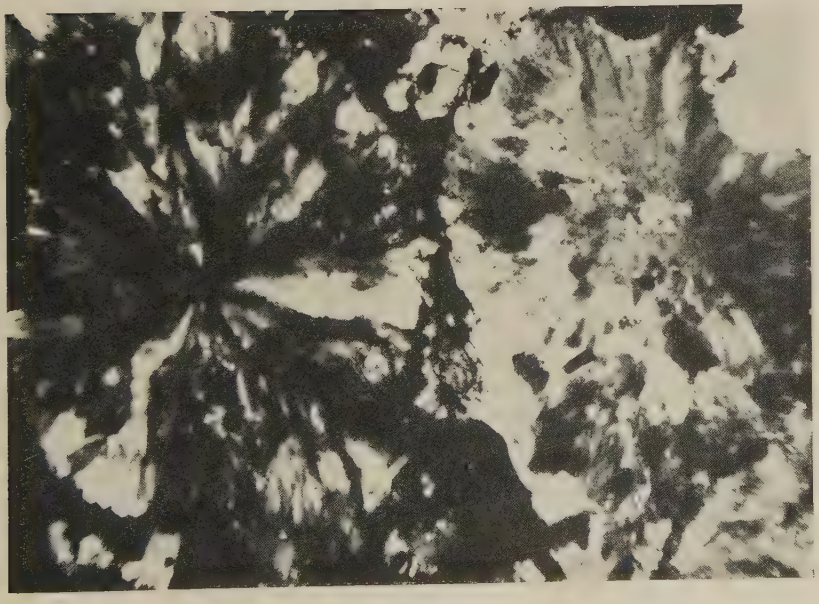


Abb. 16

# TAFEL VI

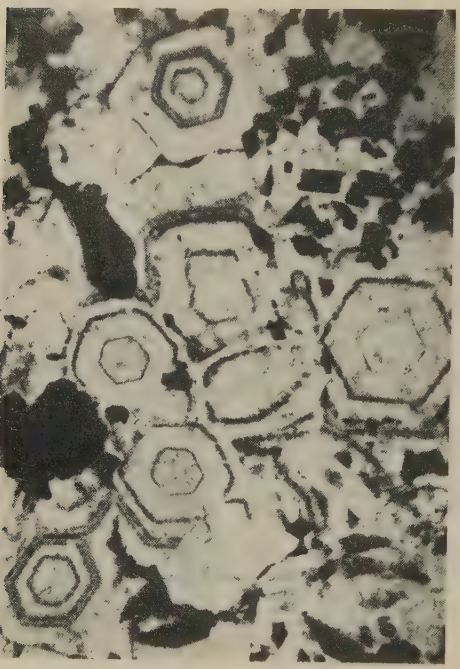


Abb. 17

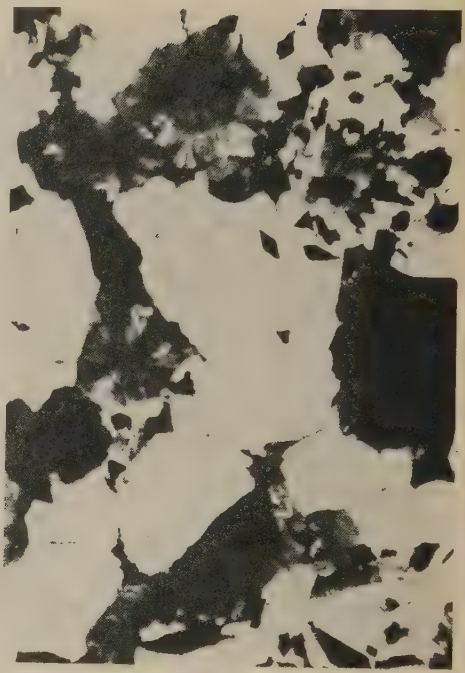


Abb. 18

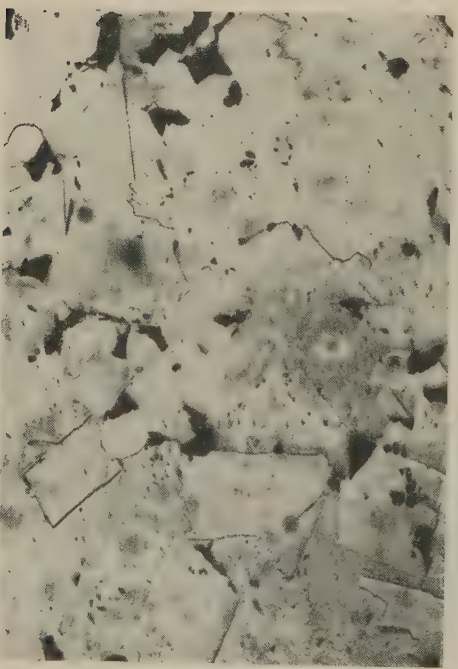


Abb. 19

Abb. 20

# TAFEL VII

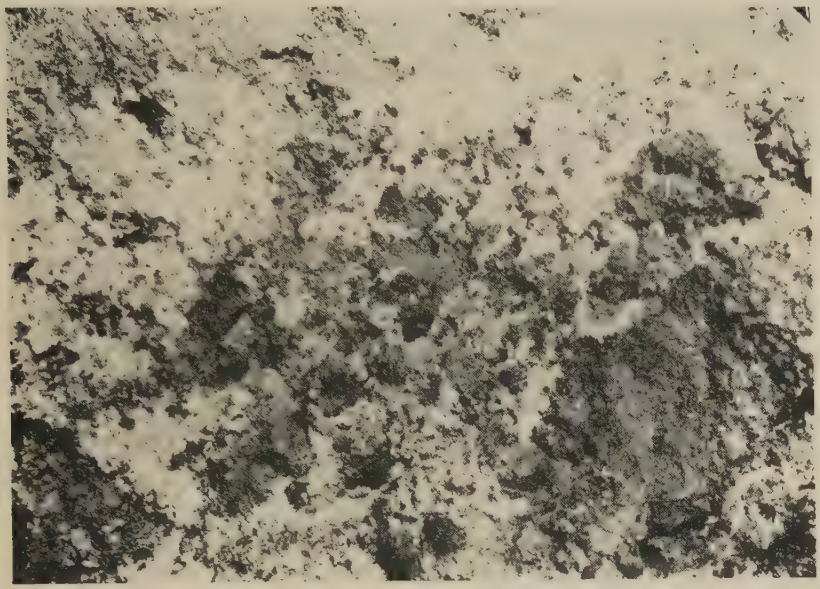


Abb. 21

Abb. 22

# LEGENDE ZU DEN TAFELN I—VII

## Tafel I

Abb. 1. 4,5 : 1 (Handstück) weisses Licht. Yenerit-Nadeln neben Quarzkristallen in einem Hohlraum einer Erzprobe. Die leuchtend weissen Partien sind eisenreiche Zinkblende.

Abb. 2. 420 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Yenerit-Nadeln in Kalkspat, teilweise auffallend gebogen. Die undeutlich erscheinenden Teile befinden sich unter der Anschliffoberfläche.

## Tafel II

Abb. 3. 155 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Yenerit-Nadeln in Kalkspat. Einige zeigen Knickungen.

Abb. 4. 155 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Yenerit in Quarz. Die Begrenzungen sind hier im Gegensatz zu denen in Kalkspat ganz unregelmässig.

Abb. 5. 450 : 1, Ölimmersion (Anschliff) weisses Licht N +. Lamellar verzwillingter Yenerit. Er wird von Arsenkies umhüllt (weiss). Wenig Quarz (dunkelgrau).

Abb. 6. 160 : 1 (Anschliff) weisses Licht N //. Arsenkies (A, weiss) wird stärker durch Yenerit (Y, grau), als durch Bleiglanz (B, hellgrau) verdrängt. Schleifkratzer im Bleiglanz hören an der Grenze Bleiglanz-Yenerit meist auf.

## Tafel III

Abb. 7. 790 : 1, Ölimmersion (Anschliff) weisses Licht N +. Yenerit-Nadeln in Kalkspat unter der Anschliffoberfläche. Längsstreifung der Nadeln an der unteren Partie der beinahe senkrecht liegenden Nadel besonders gut sichtbar.

Abb. 8. 400 : 1, Ölimmersion (Anschliff) weisses Licht N +. Äusserst feinlamellar verzwillingter Yenerit. Wenig Kalkspat mit hohem Relief.

Abb. 9. 115 : 1 (Anschliff) weisses Licht N +. Zwillingsbildungen an Yenerit (Y, weiss-dunkelgrau) getrennt durch den barrierenartig hervorstehenden Arsenkieskristall (A, weiss). Umgrenzung des Yenerits grösstenteils durch Bleiglanz (B, grau) mit völlig unregelmässigem Verlauf der Trennungslinie. Weitere Arsenkieskristalle mit meist rhombischem Querschnitt.

Abb. 10. 40 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N//. Zonarstruierte Zinkblende (grau gesprenkelt und schwarz) wird von Quarz korrodiert. Der helle Teil der Zinkblende zeigt deutlich das Spaltrisssystem, wobei zum Teil eine regelmässige Karrierung hervorgerufen wird.

## Tafel IV

Abb. 11. 6 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Geätzt mit schwefelsaurer Permanganatlösung. Zinkblende mit Zwillingslamellen und Tröpfchen von Kupferkies (weiss). Die Tröpfchen sind manchmal entlang der Zwillingslamellengrenzen angereiht. Etwas Pyrit mit Arsenkies (weiss).

Abb. 12. 35 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Arsenkies-„Sonnen“ (weiss) in Quarz (schwarz).

Abb. 13. 60 : 1 (Anschliff) weisses Licht N+. Arsenkieszwillinge in filzigem Turmalin führendem, sandigem Ton. (Die Durchkreuzungsgrenzen der Zwillinge konnten photographisch nur durch eine Aufnahme mit scharf gekreuzten Nicols sichtbar gemacht werden.)

Abb. 14. 110 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Geätzt mit alkalischer Permanganatlösung. Bei einigen verhältnismässig grösseren Körnern von Arsenkies charakteristische, feinschalige Struktur. Ausser Arsenkies ist noch etwas Zinkblende (dunkelgrau) zu sehen.

## Tafel V

Abb. 15. 45 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N//. Durch winzige, unbestimmbare Einschlüsse hervorgerufene Sechsecke in Quarz. Entlang der Quarzkorngrenzen Yenerit (schwarz), der sich infolge seiner Plastizität der Form der Quarzkörner anpasst.

Abb. 16. 45 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N+. Gleiches Bild wie oben, aber bei gekreuzten Nicols. Die dabei zum Vorschein kommende subradiale Struktur ist für den Quarz von Işikdağ fast die Regel.

## Tafel VI

Abb. 17. 25 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N//. Die gleiche Erscheinung wie in Tafel V, Abb. 15, mit dem Unterschied, dass hier pro Quarzkorn bis zu vier konzentrische Sechsecke zu sehen sind. Die schwarzen Körner sind Erz.

Abb. 18. 25 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N+. Gleiches Bild wie Abb. 17 bei gekreuzten Nicols. Wider Erwarten zeigt es sich, dass nicht alle Körner, welche deutliche Sechsecke aufweisen senkrecht zur c-Achse geschnitten sind.

Abb. 19. 155 : 1 (Anschliff) grünes Licht N//. Aggregat von vorherrschendem Pyrit mit Arsenkieskristallen, die von Pyrit verdrängt werden. Der Arsenkies hebt sich durch die Umrisse und die bessere Politur vom Pyrit ab.

Abb. 20. 50 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N//. Filziger Turmalin (grau gesprenkelt) und undeutliche Turmalinsonnen (dunkel) neben Quarz (weiss) und Erz (schwarz).

## Tafel VII

Abb. 21. 1,5 : 1 (Handstück) weisses Licht. Nester des filzigen Turmalins von Işikdağ (weiss) in einem Erzstück. Unten links in der Ecke äusserst feine Nädelchen von Yenerit

Abb. 22. 250 : 1 (Dünnschliff) grünes Licht N//. Turmalin-Nadeln in Quarz. Links Nadeln von Yenerit (schwarz und oft gebogen). Die übrigen Einschlüsse (am ausgeprägtesten in der Mitte in drei konzentrischen gebogenen Linien angeordnet) bestehen aus äusserst feinen unbestimmbaren Stäubchen.

## Curriculum vitae

Am 29. April 1918 wurde ich, Orhan Muzaffer Bayramgil von Istanbul (Türkei), als Sohn der Hamide Nefise und des Professors der Landwirtschaftskunde Mehmed Ali Bayramzade, in Istanbul geboren. Nach der Absolvierung der ersten Primarschule von Istanbul trat ich in das Lyzeum von Galatasaray ein, wo der Unterricht zum grossen Teil in französischer Sprache gehalten wird. Im Sommer 1938 erwarb ich an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung dieses Lyzeums das Diplom und das Reifezeugnis. Anschliessend bestand ich mit Erfolg zwei öffentliche Prüfungen, die der türkische Staat zur Wahl von Stipendiaten angesetzt hatte. Die erfolgreichen Kandidaten dieser Prüfungen hatten die Möglichkeit, im Auslande hauptsächlich solche Fächer zu studieren, deren Studium in der Türkei noch nicht eingeführt war. Die beiden bestandenen Examina gestatteten mir, zwischen Deutschland und der Schweiz als Studienland zu wählen. Die politische Lage, welche einen neuen Krieg vorausahnen liess, bewog mich, meine Studienzeit in der Schweiz zu verbringen.

Ich kam Ende 1938 nach Basel, wo ich zunächst die deutsche Sprache erlernte. Im Wintersemester 1939/40 immatrikulierte ich mich an der Universität Basel. Nachdem ich die Prüfungen in den Nebenfächern Chemie und Physik bestanden hatte, begann ich im Wintersemester 1942/43 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Max Reinhard mit der Ausarbeitung einer Dissertation. Im Sommersemester 1943 bestand ich das dritte Nebenfachexamen in Geologie.

Während meines Studiums nahm ich teil an den Vorlesungen, Übungen und Exkursionen folgender Herren Dozenten:

A. Hagenbach, A. Buxtorf, M. Reinhard, P. Ruggli, W. Kuhn, H. Erlenmeyer, P. Huber, J. Cadisch, F. Bürki, M. Reichel, A. Rittmann, P. Bearth, L. Vonderschmitt.